SCIENCES ET AVENIR
La Recherche

Dossier spécial

©EUROPEAN SOUTHERN OBSERVATORY/AIP

POURQUOI

Pourquoi ne peut-on pas aller plus vite que la lumière ?

Pourquoi les civilisations disparaissent-elles ?

Pourquoi ne peut-on pas inverser le temps ?

Pourquoi les E.T. ne répondent-ils pas ?

Pourquoi y a-t-il quelque chose plutôt que rien ?

Pourquoi la Terre est-elle ronde ?

LES 25 GRANDES QUESTIONS QUI METTENT LA SCIENCE AU DÉFI

SCIENCES ET AVENIR / LA RECHERCHE - N° 905/906 - JUILLET/AOÛT 2022 - POURQUOI ?

JUILLET - AOÛT 2022 - N° 905-906 - ALLEMAGNE 9,60 € / ITALIE 6,90 € / LUXEMBOURG 6,90 € / GRÈCE 6,90 € / BELGIQUE 6,90 € / ESPAGNE 6,90 € / PORTUGAL 6,90 € / DOM 7,10 € / TOM 980 XPF / SUISSE 11,70 CHF / TUNISIE 12,80 TND / MAROC 70 DH / CANADA 10,50 $ CAD

L 13418 - 905 - F: 6,50 € - RD

Il y a mieux que faire surveiller votre maison par la voisine

orange™

2 mois offerts[1]

Maison Protégée
Alarme et Télésurveillance

- Matériel inclus, sans frais d'installation[2]
- Centre de télésurveillance 24/24
- Application mobile pour piloter à distance votre alarme[3]

0 800 00 86 36 Service & appel gratuits

Engagement 12 mois.
Offre soumise à conditions réservée aux particuliers pour les logements en France métropolitaine dont la valeur des biens mobiliers ne dépasse pas 100000€. Frais de résiliation de 50€. Conditions sur telesurveillance.orange.fr

(1) Remise nouveau client sur vos 2 premières factures de 34,99€ pour la formule Maison ou de 24,99€ pour la formule Appartement. Promotion valable pour toute première souscription (même titulaire et même adresse) entre le 02/06/2022 et le 17/08/2022. En cas de résiliation avant la fin de la période d'engagement, les mensualités restantes sont dues (hors motif légitime). Le montant restant dû exclut les remises éventuelles. **(2)** Le technicien détermine l'emplacement des détecteurs suite au diagnostic personnalisé du logement, afin de sécuriser les axes stratégiques et les zones de valeur. Des équipements supplémentaires en option payante peuvent être nécessaires en fonction de la configuration et de la surface du logement. **(3)** Sur réseaux et mobiles compatibles. Compatibilité iOS 13.0 et +, Android 9.0 et +. Téléchargement gratuit, coût d'usage selon offre. Maison Protégée est une offre de télésurveillance proposée par Orange Télésurveillance (SASU au capital de 33610000€ - Siège social : 1 avenue du Président Nelson Mandela 94110 Arcueil - RCS Créteil 824 353 973), titulaire de l'autorisation d'exercer AUT-094-2117-05-16-20180654177 délivrée par le CNAPS. L'autorisation d'exercice ne confère aucune prérogative de puissance publique à l'entreprise ou aux personnes qui en bénéficient.

Dominique Leglu
Directrice éditoriale

BERNARD MARTINEZ

Einstein et le GPS

Derrière les tsunamis d'étoiles, la persévérance. Si l'expression a fait florès à la mi-juin, avec la découverte inattendue de tremblements stellaires grâce à l'inventaire de 2 milliards d'étoiles établi par le satellite Gaia *(lire p. 10)*, c'est à la longue durée de cette recherche fondamentale qu'on veut ici rendre hommage. Un peu de mémoire du temps long? Gaia lancé en 2013 a succédé à Hipparcos lancé en 1989, au nom inspiré d'Hipparque, l'astronome grec qui avait consigné 1000 étoiles, il y a plus de 2000 ans. Continuité, persistance, engagement, telles sont les clés des découvertes nées de la seule curiosité des scientifiques. Sans préjuger ni du calendrier ni de la portée de leurs retombées.

E = mc² au quotidien. L'archétype de l'aboutissement imprévu d'une observation scientifique approfondie, d'une expérience novatrice, d'une théorie disruptive? C'est le GPS, celui-là même qui indique à chaque instant où d'aucuns se trouvent sur le globe, smartphone en main. Qui aurait prédit, lorsqu'Albert Einstein écrivait la plus célèbre des équations, $E = mc^2$, qu'elle serait d'une utilisation quotidienne? Et que l'étrange mécanique quantique élaborée au début du XX^{e} siècle par Werner Heisenberg, Niels Bohr et nombre de cerveaux de haut vol, serait indispensable au bon fonctionnement des satellites?

Boson de Higgs. En clair, ne jamais oublier que l'accumulation de connaissances fondamentales permet, un jour, de trouver de nouvelles solutions à de nouveaux problèmes. Or, l'humanité, aujourd'hui, fait la chasse aux solutions planétaires. D'où l'initiative de Michel Spiro, jadis à la tête du conseil du Cern, où a été découvert en 2012 le boson de Higgs, 48 ans après la prédiction théorique du Nobel Peter Higgs *(lire p. 68)*. Il a lancé l'idée d'une « Année internationale des sciences fondamentales pour le développement durable », inaugurée ce 8 juillet à l'Unesco, à Paris.

Réservoir de connaissances. Pour le physicien, la planète est *« à un moment déterminant pour son futur »*. Et les sciences fondamentales ont un rôle majeur à jouer. Mathématiques, physique, chimie, biologie, sans oublier les sciences humaines, sont indispensables pour affronter les problèmes globaux actuels. S'attaquer au changement climatique et à la perte de biodiversité avec les outils de l'intelligence artificielle, améliorer le photovoltaïque grâce à la mécanique quantique, favoriser l'inclusion avec des algorithmes révélateurs des inégalités… Il faut puiser dans le réservoir des connaissances acquises.

Gaia et le Soleil. Surtout, ne pas relâcher notre curiosité. Mais alimenter le réservoir, ne cesser ni d'observer, ni d'analyser, comme *Homo sapiens* l'a toujours pratiqué. Dans le saule blanc, il a trouvé de l'aspirine, chez le calmar, un neurone l'instruisant sur son propre cerveau. Grâce à Gaia, il connaît mieux le Soleil. Notre étoile dont il faut prévoir les colères, car elles sont capables d'envoyer *ad patres*… les satellites en orbite. Persévérance. ■ @dominiqueleglu

COURRIER

Courriels à : **courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr**

« Mieux manger pour vivre plus longtemps »
(*Sciences et Avenir-La Recherche*, n° 904, juin 2022)

Votre article « Manger bio nous fera-t-il vivre plus vieux ? » se conclut de manière peu positive quant à l'alimentation bio et aux bienfaits qu'elle apporte. Or beaucoup de sources scientifiques démontrent que l'agriculture biologique, en refusant l'utilisation de pesticides et de techniques très invasives, protège la biodiversité.

Patrick Andraud

S. et A. : L'article n'évoque pas ces aspects car il s'inscrit dans un dossier consacré à la nutrition. Or, concernant la santé humaine, il convient de rappeler ici que le « bio » utilise aussi des pesticides et des produits toxiques bien qu'ils soient d'origine naturelle : le cuivre en particulier. Ce qu'exclut l'agriculture biologique, c'est l'utilisation de produits de synthèse. Mais les deux types d'agriculture (conventionnelle et biologique) ont recours à la chimie pour se prémunir des attaques de ravageurs et autres champignons, qu'elle soit d'origine naturelle ou synthétique. La conclusion de l'article n'avait d'autre objectif que de rappeler que la qualité nutritive des aliments ne se réduit pas à la question « bio » ou « pas bio », mais repose bien plus sur l'importance d'une alimentation saine.

Des hologrammes qui n'en sont pas

Je suis surpris à la lecture de la légende accompagnant le dessin d'Olivier Lascar (*S. et A.* n° 904, juin 2022) : *« Jean-Luc Mélenchon a réalisé des meetings en utilisant son hologramme »*. Ce type de présentation, très spectaculaire, n'a rien « d'holographique ».

Yvon Renotte

S. et A. : C'est effectivement un abus de langage. L'holographie est une méthode optique d'enregistrement et de reproduction d'images en trois dimensions. Que le spectateur d'un hologramme se déplace en le regardant, et il verra l'objet dont l'image est ainsi reproduite en volume, selon les points de vue différents correspondant à sa position d'observateur, mais sans qu'il y ait de déformation. Rien de tel avec les projections employées par Jean-Luc Mélenchon, ou utilisées lors de prestations d'artistes décédés, comme cela a été le cas avec Dalida ou Whitney Houston, par exemple. Il s'agit là d'images en 2D qui, si elles donnent l'impression de « flotter » sur scène, n'en demeurent pas moins plates.

Déforestation

L'article « La stupéfiante régénération des forêts tropicales » (*S. et A.* n° 900, février 2022) laisse à penser que la nature n'a besoin que de vingt ans pour se refaire. Mais les dégâts sur la faune, les sols et le climat plaident pour arrêter de défricher.

Philippe Wolfarth

S. et A. : L'article scientifique sur la régénération des forêts tropicales n'est en rien une incitation à déforester. Il ne traite que des constats effectués vingt ans plus tard, et les chercheurs continuent bien d'alerter contre les impacts de la déforestation en cours.

Qui habitait dans la grotte Cosquer ?

À la lecture de votre article sur l'histoire géologique de la grotte Cosquer (*S. et A.* n° 904, juin 2022), je m'interroge sur l'utilisation d'une cavité aussi fermée ? Elle ne semble pas habitable à cause de l'absence de lumière et du problème du renouvellement de l'air, deux difficultés qui posent de gros problèmes.

Hugo Perez

La cavité aux célèbres œuvres pariétales n'a jamais été habitée.

CL. LUC VANRELL / MINISTÈRE DE LA CULTURE/DRAC/SRA PACA

S. et A. : L'aspect de la grotte Cosquer, aujourd'hui immergée aux trois quarts, n'était pas celui qu'ont connu les humains du paléolithique supérieur, qui y ont laissé les célèbres œuvres pariétales. Il y a 20 000 ans, la cavité se situait à plusieurs kilomètres du rivage actuel, et le porche d'entrée s'élevait à plus de 135 m au-dessus de la mer. La grotte n'a jamais été habitée. En effet, contrairement à une idée reçue, les hommes préhistoriques ne vivaient pas dans les grottes et préféraient des campements dans des lieux ouverts.

Rectificatif

Proche-Orient. Dans l'article sur « Un sanctuaire inédit au cœur du désert » (*S. et A.* n° 903, mai 2022), le Liban a disparu de la carte par erreur. Il devrait se trouver à l'ouest de la Syrie.

BERNARD MARTINEZ

ÉDITO

Carole Chatelain
Directrice de la rédaction

L'obsession du pourquoi

C'est sans doute l'une des premières questions qui vint à l'esprit de l'humain : Pourquoi ? Impossible bien sûr d'établir l'origine de cette obsession dans l'histoire de l'humanité, mais gageons que nos grands ancêtres ou même nos cousins — les néandertaliens ou les dénisoviens — se la posaient déjà. Pourquoi sommes-nous là ? Pourquoi sommes-nous vivants ? Car les enfants de 3 ou 4 ans ne sont pas les seuls à être curieux et à s'interroger tous azimuts. Pour peu que nous gardions l'esprit en éveil — comme le font bien sûr tous les lecteurs de *Sciences et Avenir-La Recherche* —, nous restons toute notre vie à l'écoute de notre environnement, pour tenter d'en décrypter le sens profond. C'est la raison pour laquelle nous vous proposons ce numéro double afin de pimenter votre été et apporter des réponses étayées à ce qui nous intrigue : pourquoi croire n'est pas savoir — déterminant en cette époque de circulation accélérée des *fake news* — ? Pourquoi vieillit-on ? Pourquoi ne peut-on pas inverser la courbe du temps ? Pourquoi rit-on ? ... Et celle-ci, pierre angulaire de toutes les autres et pour laquelle nous n'aurons peut-être jamais la réponse : pourquoi y a-t-il quelque chose plutôt que rien ? Bref, nous plongeons au cœur de grandes questions métaphysiques — et d'autres plus prosaïques —, allant jusqu'à nous demander les raisons pour lesquelles les extraterrestres, s'ils existent, restent si silencieux à notre égard. Autant de pages qui vous réservent une superbe aventure de l'esprit. Et ce ne sont pas les seules ! Bien que cela soit concrètement impossible comme nous l'expliquons aussi dans ce dossier, nous vous invitons en effet à remonter ensemble la flèche du temps pour découvrir un nouveau berceau de l'écriture… en Iran. Grâce à sa « pierre de rosette » à lui, le chercheur français François Desset a ainsi réussi avec ses collègues iraniens à « craquer » une écriture plurimillénaire, l'élamite linéaire, l'une des dernières qui résistaient encore à la compréhension. De quoi chambouler l'idée reçue qui voudrait que la Mésopotamie ait été l'unique berceau de l'écriture *(p. 106)*. Nous vous invitons également, en cette période estivale, à vous rafraîchir en embarquant à bord du trimaran le plus rapide du monde dont notre journaliste Fabrice Nicot a pu tenir (quelques instants, rassurons-nous !) la barre. Un géant des mers qui vole littéralement au-dessus des flots à plus de 70 km/h *(p. 72)*. Bon voyage ! ■ @carolechatelain

> « Nous vous proposons un numéro double pour pimenter votre été et apporter des réponses étayées à ce qui nous intrigue »

SCIENCES ET AVENIR La Recherche

SERVICE ABONNEMENT
et anciens numéros
Tél. : 01.55.56.71.48
Sciences et Avenir 45, avenue du Général-Leclerc 60643 Chantilly cedex
abonnements@sciencesetavenir.fr

Tarif des abonnements : France, 1 an simple (12 numéros dont un double) : 35 € 1 an complet (12 numéros dont un double + 4 hors-séries) : 48 €. Étranger : nous consulter.
Abonnements Belgique : Edigroup : tél. 00.32.70.233. 304
Abonnements Suisse : Edigroup : tél. 00.41.22.860.84.01

Pour joindre la rédaction :
41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris
Tél. : 01.55.35.56.01.
E-mail : redaction@sciencesetavenir.fr
Site Internet : sciencesetavenir.fr

Directrice éditoriale Dominique LEGLU - 01.55.35.56.02
Directrice de la rédaction Carole CHATELAIN - 01.55.35.56.57
assistée de Valérie PELLETIER - 01.55.35.56.01
Rédacteurs en chef Mathieu NOWAK (mensuel) - 01.55.35.56.38
Philippe PAJOT (La Recherche) - 01.70.98.19.29
Vincent REA (hors-série) - 01.55.35.56.35
avec Florence LEROY - 01. 55.35.56.36
Olivier LASCAR (digital) - 01.55.35.56.15
Adjoint à la rédaction en chef
Laurent PERICONE (édition) - 01.55.35.56.10
Rédacteur(trice)s en chef adjoint(e)s
Vincent GLAVIEUX (La Recherche) - 01.70.98.19.32
Andreina DE BEI (photo) - 01.55.35.56.31
Lise LOUMÉ (digital) - 01.55.35.56.39
Directeur(trice)s artistiques
Dominique PASQUET (couverture) - 01.55.35.56.59
Jean-Louis GILABERT - 01.55.35.56.28
Thalia STANLEY (adjointe) - 01.55.35.56.21
Secrétaire générale de la rédaction
Véronique MESSAGER - 01.55.35.56.18
Conseillère auprès de la direction de la rédaction
Rachel MULOT (cheffe de service enquêtes) - 01.55.35.56.07
Chef de service Fabrice NICOT (fondamental) - 01.55.35.56.46
Chef de service adjoint Hervé RATEL (actualités) - 01.55.35.56.45
Chef(fe)s de rubrique
Mathias GERMAIN (biologie, médecine, santé) - 01.70.98.19.33
Sylvie RIOU-MILLIOT (médecine, santé) - 01.55.35.56.54
Hugo JALINIÈRE (actualités, médecine) - 01.55.35.56.52
Rédaction Bernadette ARNAUD (archéologie, histoire) - 01.55.35.56.44 - Franck DANINOS (fondamental) - 01.55.35.56.78
Arnaud DEVILLARD (numérique, expositions) - 01.55.35.56.27
Sylvie ROUAT (grand reporteure, espace, océanologie) - 01.55.35.56.40
Collaborateurs(trices) Sylvie BOISTARD, Loïc CHAUVEAU, Johan KIEKEN
Chroniqueurs Sylvie BENZONI, Christophe CASSOU, Jean-Gabriel GANASCIA, Céline GUIVARCH
Ont participé à ce numéro P. BERLOQUIN, S. BRIET, A. CARRÉ, J-F. HAÏT, P. KALDY, E. PROUST, S. VANEL
Secrétaire de rédaction
Sandrine HAGÈGE - 01.55.35.56.17
Maquette Horia BAHRI - 01.55.35.56.19
Photo-iconographie Isabelle TIRANT - 01.55.35.56.32
Claire BALLADUR - 01.70.98.19.41
Pôle digital Marine BENOIT (fondamental, archéologie) - 01.55.35.56.23 - Valentin COLLIAT-DANGUS (community manager) - 01.55.35.56.70 - Camille GAUBERT (santé) - 01.55.35.56.24 - Joël IGNASSE (espace, paléontologie) - 01.55.35.56.15 - Coralie LEMKE (santé) - 01.55.35.56.56
Anne-Sophie TASSART (cheffe de rubrique) - 01.55.35.56.41
Clémence BAUDOIN - responsable projets digitaux
Jessica RIOS - cheffe de projet digital
Documentation Isabelle DO O'GOMES (cheffe de service) - 01.55.35.56.49 - Astrid SAINT AUGUSTE - 01.55.35.56.48
Courrier des lecteurs
Sara DE LACERDA - courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr
Informatique Daniel DE LA REBERDIÈRE - 01.55.35.56.06
Directeur général Philippe MENAT
Responsable administrative et financière Jaye REIG - jreig@challenges.fr
Comptabilité - compta@challenges.fr
Responsable ressources humaines
Sandrine MARTIN - smartin@challenges.fr
Fabrication Christophe PERRUSSON
Publicité MediaObs. 44, rue Notre-Dame-des-Victoires 75002 Paris Tél. : 01.44.88.97.70. Fax : 01.44.88.97.79.
Courriel : l'initiale du prénom puis nom suivi de @mediaobs.com
Directrice générale Corinne ROUGÉ - 01.44.88.93.70 - assistée de Marie-Noëlle MAGGI - 01.44.88.93.70
Directeur délégué Philippe LÉONARD - 01.44.88.89.18
Directeur de publicité Emmanuel LALA - 01.44.88.89.28
Exécution : Cédric AUBRY - 01.44.88.89.05
Administration des ventes Catherine FERNANDES - 01.44.88.89.20
Directeur commercial Valéry SOURIEAU
Directeur des abonnements Luc BONARDI
Responsable des abonnements Lina QUACH - 01.55.35.56.63
Sciences et Avenir SAS
Président, Directeur de la publication : Claude PERDRIEL
Secrétaire général Jean-Claude ROSSIGNOL
Multimédia Sciences et Avenir, 41 bis, avenue Bosquet, 75007 Paris. - Tél. : 01.55.35.56.00

Origine du papier : Allemagne - Taux de fibres recyclées : 0 %
Eutrophisation : PTot = 0,014 kg/tonne de papier
Ce magazine est imprimé chez Roto France (Lognes), certifié PEFC

Certifié PEFC
Ce produit est issu de forêts gérées durablement et de sources contrôlées.
PEFC
10-31-1557
pefc-france.org

FR

ACPM DIFFUSION

Les noms et adresses de nos abonnés seront communiqués aux organismes liés contractuellement avec *Sciences et Avenir*, sauf opposition. Dans ce cas, la communication sera limitée au service de l'abonnement.. Ce numéro comporte une lettre « Bienvenue aux abonnés » ainsi qu' un message « L'Histoire » jetés sur couverture sur une partie de la diffusion abonnés et un encart « Montre CIWL - Sophia Boutique » jeté sur couverture sur toute la diffusion abonnés. Commission paritaire n° 0625 K 79712. ISSN 00368636. Distribué par MLP.

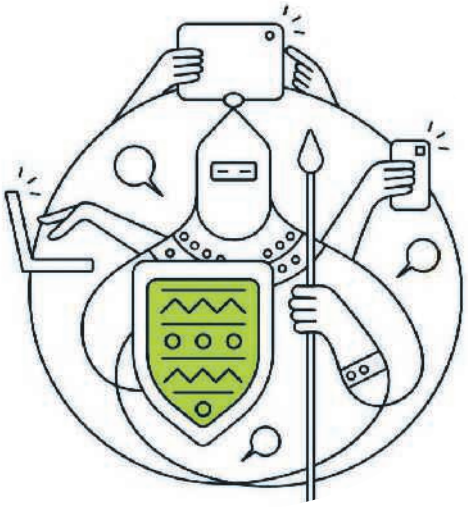
Mieux se protéger face à la cyber-délinquance

Ceux qu'on appelle les cyber-déliquants ou plus communément les pirates visent tout aussi bien les administrations, les entreprises… que les particuliers. Les attaques sont en forte recrudescence et les cybercriminels rivalisent d'ingéniosité pour convaincre les internautes de livrer leurs données personnelles et introduire virus et malwares dans les équipements. Le point avec les experts d'Avast.

Du phishing au spoofing

Les français sont méfiants et de mieux en mieux formés. Ils détectent ainsi plus facilement les emails de phishing, ces messages comportant des appels à l'aide parfois déchirants mais souvent écrits avec de nombreuses fautes d'orthographes. Toutefois les virus et malwares s'avèrent beaucoup plus compliqués à repérer car ils **s'infiltrent discrètement dans les appareils, restant parfois inactifs avant de se propager et de déclencher l'attaque.** Si certains virus sont juste gênants, la plupart d'entre eux sont destructeurs et visent à infecter et prendre le contrôle des appareils. Ce qui peut s'avérer extrêmement facile quand l'ordinateur n'est pas équipé d'un système à jour et performant. Les experts d'Avast rappellent que les virus se propagent de plusieurs manières : emails, téléchargements, messageries, logiciels obsolètes et messages publicitaires malveillants (malvertising). **Une bonne protection antivirus doit donc être globale et complète.**

Les techniques des cyber-criminels évoluent en même temps que nos habitudes de travail et de consommation. Ces derniers mois, le télétravail s'est généralisé avec des systèmes de sécurité parfois défaillants. L'usage des smartphones s'est également accru et ces appareils sont devenus une cible privilégiée des pirates. Quand on sait que chaque français utilise en moyenne 5 heures par jour son smarphone, il est urgent que les "mobinautes" prennent la bonne habitude de protéger leurs smarphones. Avast One propose une fonctionnalité Scam Protection qui alerte sur l'existence de liens frauduleux non seulement dans les emails mais aussi dans les SMS et applications.

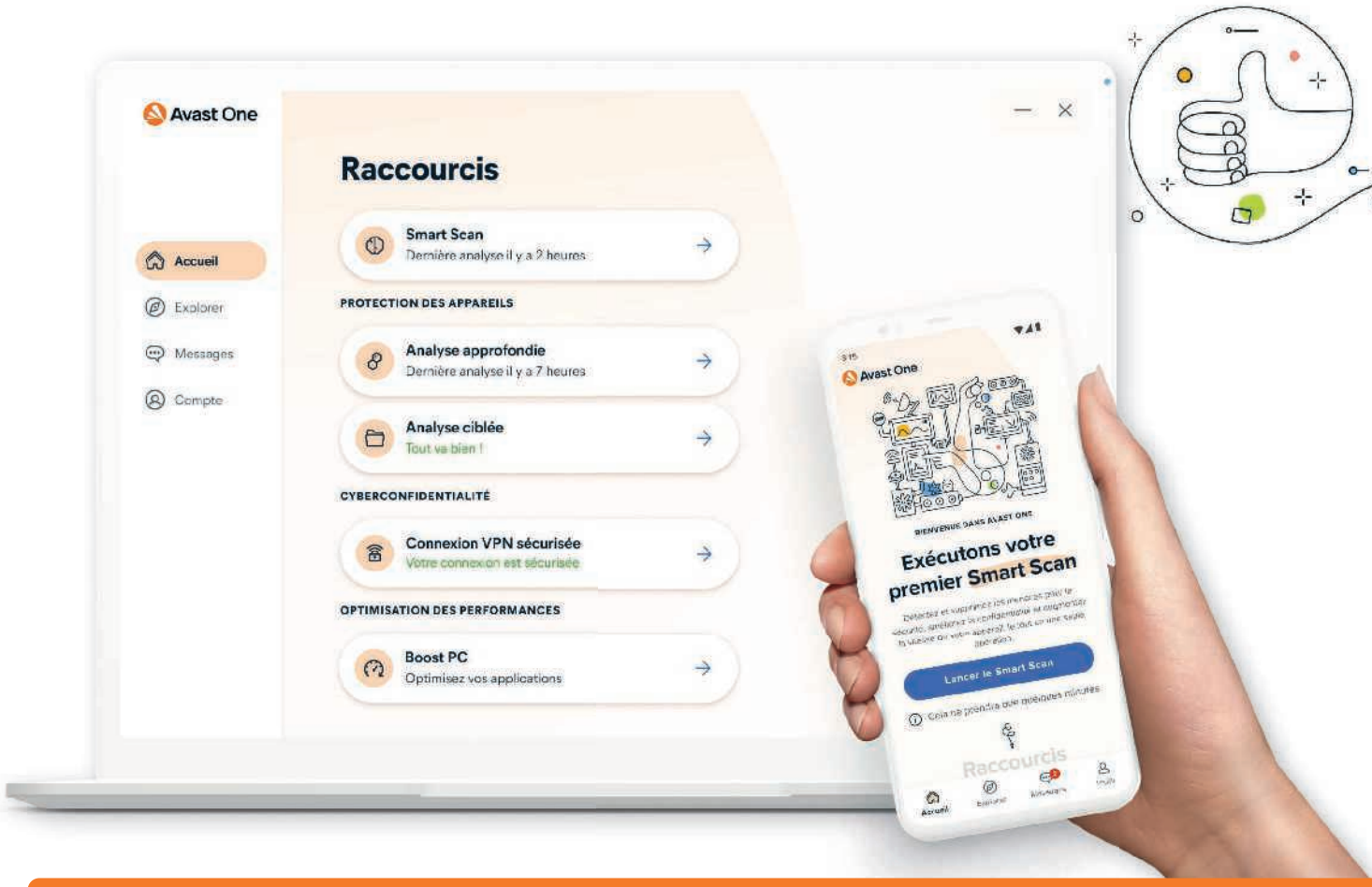


Une cyberdéliquance en hausse en 2022

Le plus vigilant des internautes est-il pour autant si démuni face à des pirates aux techniques ultra-sophistiquées ? Le spoofing (usurpation d'identité d'une marque ou d'un site de confiance) par exemple connait une forte croissance. L'escroc se fait par exemple passer pour un conseiller bancaire en fournissant des informations personnelles du "client" (numéro de téléphone, adresse). En confiance, le client s'empresse alors de communiquer le numéro de carte bancaire demandé. La protection des données personnelles est donc vitale.

Généralisation des achats en ligne, crise géopolitique, arrivée du metavers, developpement des crypto monnaies… les experts d'Avast estiment que les menaces vont aller s'accroissant et qu'elles prendront des formes très variées et difficilement détectables pour les non - initiés. Par exemple, pour « miner » les crypto monnaies comme le bitcoin, c'est à dire résoudre de complexes équations pour des tiers, les "mineurs" utilisent des équipements informatiques à l'insu des propriétaires. A la clé une surchauffe des équipements, l'arrivée de dysfonctionnements et même une augmentation des factures d'électricité ! Tout aussi raffinés, les logiciels d'extorsion que sont les ransomware ou rançongiciels. L'ordinateur est bloqué contre rançon à verser aux déliquants. Contrairement à ce qu'on pourrait penser, PME et particuliers constituent la majorité des victimes de ransomware.

Pour bloquer toutes ces activités malveillantes, conserver la confidentialité lors des achats en ligne et faire durer les équipements, il est absolument impératif d'ajouter une couche supplémentaire de protection.



Téléchargez Avast One gratuitement sur votre PC sur avast.com/sciences

Avast One

Un antivirus gratuit primé et une solution de protection avancée

+ Des outils de nettoyage pour améliorer les performances

+ Un VPN pour plus de confidentialité

LE TOUT 100 % GRATUIT !

Et n'oubliez pas de protéger votre smartphone.

Téléchargez gratuitement Avast One sur mobile

Allianz

Épargner c'est porter l'avenir sur ses épaules

Partenaire de confiance, Allianz vous accompagne pour dynamiser votre capital : financer un projet, consolider votre niveau de vie pour l'avenir, protéger vos proches ou transmettre de votre vivant.

Prenez rendez-vous dès maintenant avec un conseiller pour en discuter.
Allianz.fr/assurance-vie/

Allianz Vie - Entreprise régie par le Code des assurances - Société anonyme au capital de 643 054 425 € - Siège social : 1, cours Michelet - CS 30051 - 92076 Paris La Défense Cedex - 340 234 962 R.C.S. Nanterre.

Document à caractère publicitaire.

Réalisation : Agence Dékuple - Crédit photo : © Getty Images / Photographe : Eric Audras.

SOMMAIRE

Sciences et Avenir - La Recherche / N° 905-906 / Juillet-Août 2022

POURQUOI ?

25 questions qui défient la science P. 30

Depuis des siècles, l'humanité est taraudée par de nombreuses questions : pourquoi sommes-nous vivants ? pourquoi la Terre est-elle ronde ?... Les progrès de la science permettent d'apporter des réponses et posent de nouvelles questions.

P. 78

La nature à la reconquête de la France

L'agriculture recule, laissant de plus en plus de place à une faune et une flore qui évoluent naturellement, sans aucune intervention humaine. Reportage dans la Drôme.

P. 92

Les victimes de la foudre témoignent

Une étude française inédite menée sur 14 personnes « fulgurées » détaille leurs capacités cérébrales augmentées mais aussi leurs handicaps physiques et neurologiques.

P. 106

Écriture, un nouveau berceau découvert en Iran

Le déchiffrement récent de l'élaminte linéaire, un système d'écriture du IIIe millénaire avant notre ère, démontre que le berceau de l'écriture n'est pas seulement en Mésopotamie.

3 **Éditorial** par Dominique Leglu

4 **Courrier**

5 **Édito** par Carole Chatelain

SCIENCES FONDAMENTALES

10 **ACTUALITÉS** Le nouveau visage de notre galaxie / Un fragment d'étoile dans le désert égyptien

68 **Boson de Higgs : dix ans de mystères**

72 **La course au large, une affaire d'ingénieurs**

75 **Philip K. Dick, la science de l'anticipation**

NATURE

14 **ACTUALITÉS** La météo des tiques arrive / Une IA apprend le chant des coraux

78 **Terres sauvages : la nature à la reconquête de la France**

84 **Pourra-t-on partir en vacances en électrique ?**

88 **Grand Océan : un festival pour sauver les mers**

SANTÉ

20 **ACTUALITÉS** La température du cerveau peut monter à 41 °C / Des tissus humains cultivés grâce à la robotique

92 **Les mystérieux troubles des victimes de la foudre**

96 **Apnée du sommeil : la kiné pour muscler la langue**

99 **La résistance au paludisme fait courir plus vite**

100 **Nutrition : vive les marinades de l'été !**

HISTOIRE

26 **ACTUALITÉS** Louvre Abu Dhabi, la stèle par laquelle le scandale est arrivé /Le cou des girafes s'est allongé lors de combats

106 **Écriture, un nouveau berceau découvert en Iran**

112 **En Corse, les guerriers de pierre sortent de l'ombre**

TRANSVERSALES

118 **Sélection livres**

122 **Expositions**

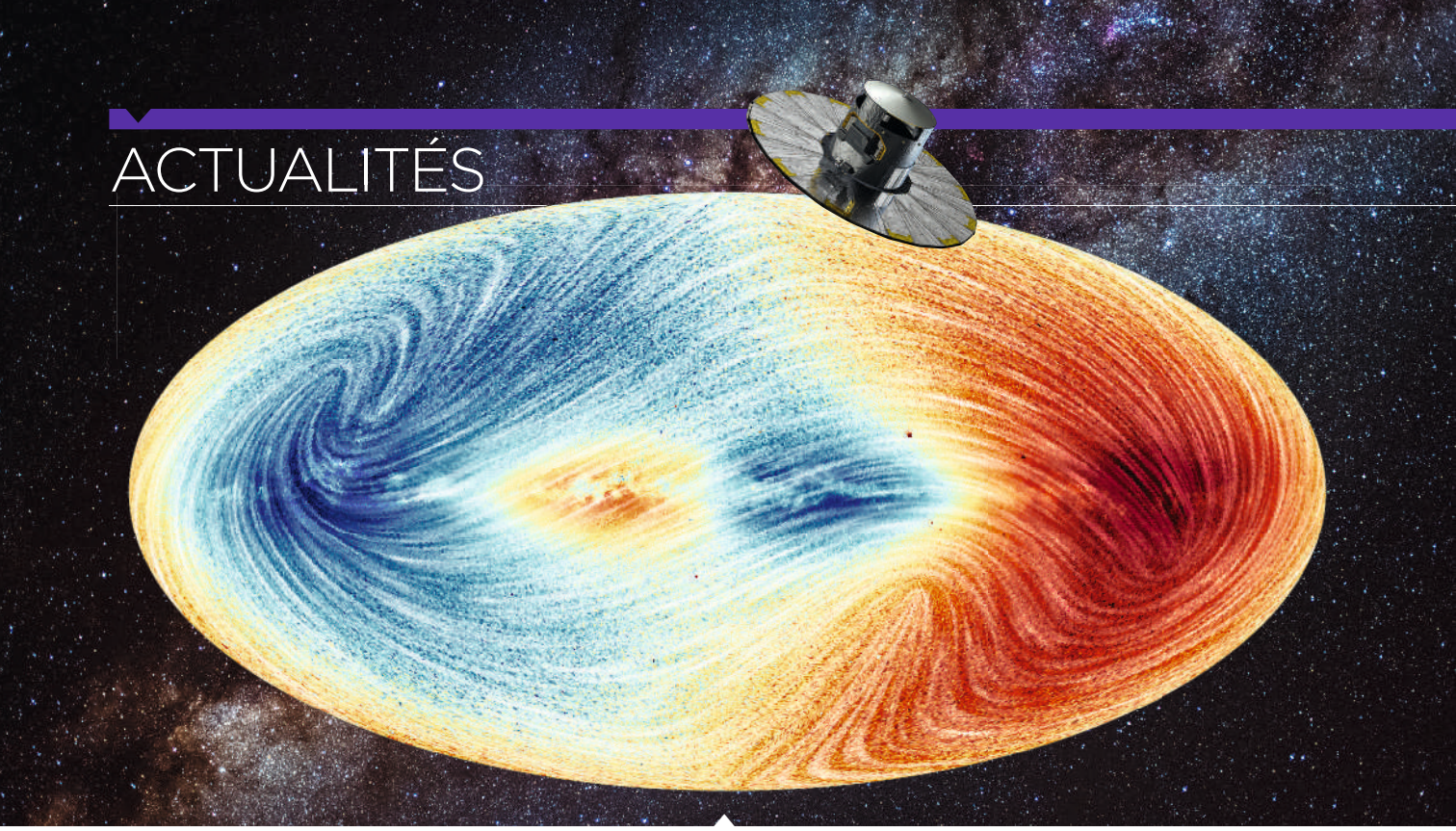
124 **Les ciels de juillet et d'août**

126 **Chroniques** Climat par Céline Guivarch et Christophe Cassou / Mathématiques par Sylvie Benzoni / Éthique par Jean-Gabriel Ganascia / L'œil d'Olivier Lascar

128 **Questions de lecteurs**

129 **Jeux**

GETTY IMAGES - L. BISCHOFF/ GETTY IMAGES - JF PODEVIN/ SPL/ SUCRÉ SALÉ - S. KAULITZKI/ SPL/ SUCRÉ SALÉ - C. ESMIEU - D. LANGDON/ GETTY IMAGES - F. DESSET



La mission astrométrique du satellite européen (en haut) a, entre autres, cartographié la rotation de 34 millions d'étoiles : en bleu celles qui se déplacent vers le Soleil, en rouge celles qui s'en éloignent.

ESA / AFP - ESA

Le nouveau visage de notre galaxie

Les données captées par le satellite Gaia permettent de connaître plus en détail des millions d'étoiles.

Trente-quatre mois d'observation et près de 2 milliards de cibles : la publication, le 13 juin, du troisième catalogue du satellite Gaia, de l'Agence spatiale européenne, constitue la plus grande collection de données astrophysiques jamais obtenues sur la Voie lactée. Un premier aperçu (EDR3) de celles-ci avait été dévoilé en 2020 avec les mesures astrométriques et photométriques de 1,8 milliard d'étoiles. S'y ajoutent, aujourd'hui, les sondages spectroscopiques qui permettent d'établir la classification de la quasi-totalité des objets étudiés avec, pour 500 millions d'entre eux, de nombreux paramètres astrophysiques tels que leurs couleurs, masses, âges ou températures. Pour 34 millions d'étoiles, c'est leur vitesse radiale qui a pu être établie, un paramètre qui permet de savoir si elles s'éloignent ou se rapprochent de nous *(voir la carte ci-dessus)*. *« C'est un grand bond en avant qui apporte enfin la troisième dimension des vitesses spatiales »*, estime Catherine Turon, astronome émérite à l'observatoire de Paris.

Autre découverte : les tremblements d'étoiles, sortes de tsunamis stellaires qui créent de minuscules mouvements à leur surface et modifient leur forme. Plusieurs milliers d'étoiles présentent de telles déformations, y compris certaines pour lesquelles les théories actuelles ne le prévoyaient pas.

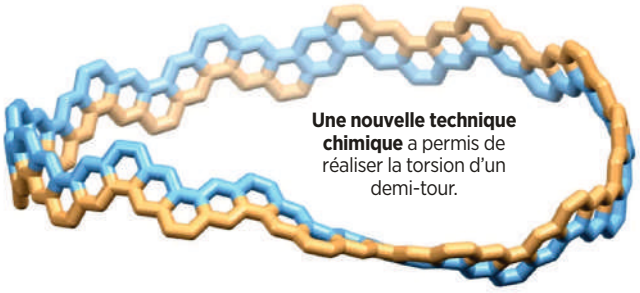
Des informations inédites sur les petits corps

Si les étoiles sont la principale cible de Gaia, le télescope — *« véritable couteau suisse de l'astronomie »*, selon les mots de François Mignard, de l'observatoire de Provence — s'est également intéressé à une proche voisine : la galaxie d'Andromède, dont le relevé photométrique est révélé. Et beaucoup plus loin encore, ce sont quelque 2,9 millions de galaxies qui sont recensées, ainsi que 6,6 millions de candidats quasars, ces noyaux galactiques actifs hébergeant un trou noir supermassif.

Enfin, *« nous découvrons aussi pour la première fois des informations détaillées sur les petits corps du Système solaire, les lunes et les astéroïdes »* ajoute François Mignard. Plus de 155 000 d'entre eux sont passés au crible, des plus proches qui pourraient menacer la Terre aux plus éloignés qui tournent bien au-delà de la planète naine Pluton. Avec pour chacun des caractéristiques de luminosité, de couleurs et de composition. Une somme de données inédite qui va demander plusieurs années d'analyse. ■ **J. I.**

La France s'associe au programme lunaire Artemis

ESPACE La France est devenue le 20e pays à s'associer au programme d'exploration lunaire Artemis de la Nasa. Concrètement, plusieurs start-up hexagonales sont dans les *starting-blocks* pour proposer des « briques technologiques », qui permettraient de s'insérer dans le programme spatial impulsé par les États-Unis. **H. J.**



Une nouvelle technique chimique a permis de réaliser la torsion d'un demi-tour.

Y. SEGAWA ET AL./NATURE SYNTHESIS 2022

Première synthèse d'un ruban de Möbius

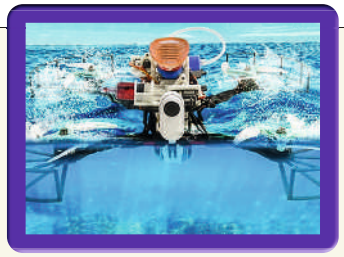
CHIMIE C'est une structure mythique qui a été synthétisée pour la première fois à partir d'atomes de carbone : le ruban de Möbius présente la particularité topologique d'être en 3D mais de n'avoir qu'une seule face. Impossible de lui attribuer un intérieur et un extérieur. C'est grâce à une nouvelle technique chimique permettant cette torsion d'un demi-tour que ce graal des nano-techniciens a pu être assemblé. Prochaine étape : voir si de nouvelles propriétés naissent de cette structure. **H. R.**

SOURCE : YASUTOMO SEGAWA, UNIVERSITÉ DE NAGOYA, JAPON.

IL A DIT

« Le champagne devrait être considéré comme un mini-laboratoire pour la physique des fluides »

Robert Georges, professeur à l'Institut de physique de Rennes et auteur d'une étude montrant que certaines ondes de choc à l'ouverture d'une bouteille de champagne dépassent la vitesse du son pour atteindre près de 1500 km/h.



BEIHANG UNIVERSITY/SCIENCE ROBOTICS

À VOIR SUR LE NET

Ce drone nage aussi bien qu'il vole

ROBOTIQUE Sur le modèle des ailes du martin-pêcheur, ce quadricoptère de 40 cm replie les lames de ses hélices lorsqu'il entre dans l'eau et les redéploie quand il en sort. Il est en plus doté d'une ventouse copiée sur celle du rémora, un poisson marin, qui lui permet de s'accrocher à un objet ou un animal afin d'économiser de l'énergie. Une technique utile pour faire de l'observation. **A. D.**

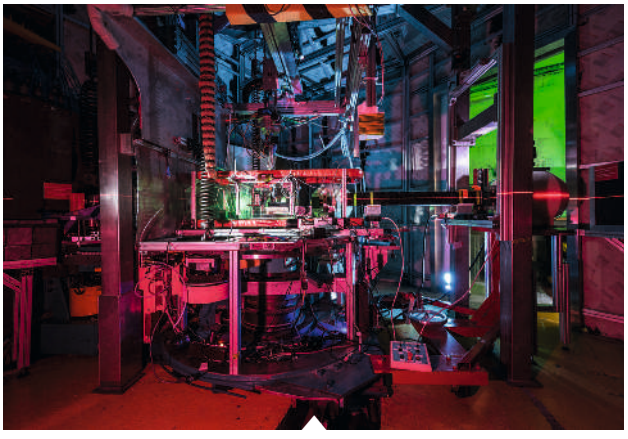
SOURCE : LEI LI, UNIVERSITÉ BEIHANG, PÉKIN, CHINE.

Pour voir la vidéo, scannez ce QR code

On a mesuré la superposition quantique

Pour la première fois, la dualité onde-corpuscule d'un neutron a été observée.

C'est l'un des plus grands principes de la physique quantique que des chercheurs viennent de mesurer pour la première fois. À savoir la dualité onde-corpuscule, également appelée « superposition quantique », selon laquelle un phénomène quantique peut se comporter tantôt comme une onde, tantôt comme une particule… ou les deux à la fois, selon les conditions dans lesquelles il est observé. Jusqu'ici, pour prouver cette dualité des particules, les physiciens devaient se contenter d'analyses statistiques. En effet, dès qu'on cherche à mesurer un objet quantique, celui-ci ne dévoile que son état de particule. Mais grâce à une méthode inédite, une équipe de l'université de Vienne (Autriche) a réussi l'impossible à l'Institut Laue-Langevin (ILL) de Grenoble : mesurer la position d'un seul neutron pour constater que la particule s'était bien déplacée sur deux chemins différents au même moment. **M. B.**

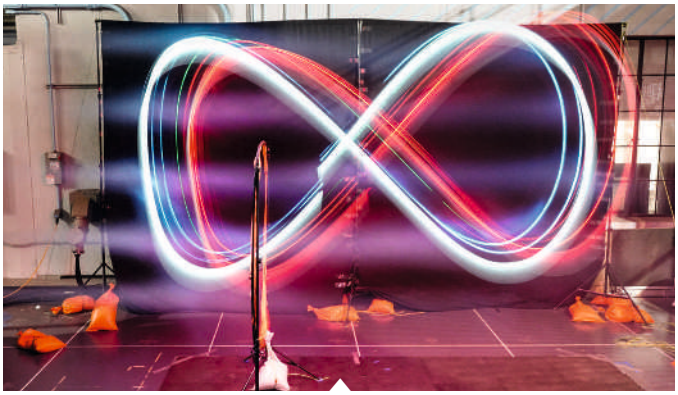


LAURENT THION ILL

Dans le laboratoire de l'ILL de Grenoble, les chercheurs ont mis au point une technique pour « piéger » les neutrons en deux endroits à la fois.

Dernière étape pour la station spatiale chinoise

ESPACE La capsule Shenzhou-14 s'est amarrée avec succès le 5 juin à la station spatiale chinoise Tiangong. Son équipage de trois astronautes entame à présent une mission de six mois dont le but est l'achèvement de la nouvelle station. Au module central Tianhe, en orbite depuis avril 2021, devraient être adjoints deux modules de laboratoire : Wentian en juillet et Mengtian en octobre. **S. R.**



CALTECH

Grâce à l'algorithme Neural-Fly, le drone a maintenu une trajectoire en huit au milieu de vents violents (ici testé dans une soufflerie).

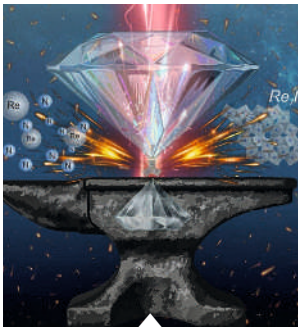
Un drone autonome contre le vent

TECHNOLOGIE L'appareil a d'abord affronté en soufflerie des vents à différentes vitesses, et ses données de vol ont été enregistrées (comportement, altitude, vélocité…). Ces dernières ont servi à entraîner un algorithme d'apprentissage automatique, Neural-Fly, conçu pour corriger la trajectoire d'un drone face au vent. L'appareil a ainsi pu voler même face à des forces de vent qu'il n'avait jamais rencontrées. **A. D.**

SOURCE : MICHAEL O'CONNELL, CALTECH, ÉTATS-UNIS.

Sur Mars, Perseverance passe aux choses sérieuses

ESPACE Le rover de la Nasa Perseverance, qui arpente la planète Rouge depuis février 2021, a enfin entamé l'étape la plus importante de sa mission : l'étude d'un ancien delta, où l'eau aurait coulé en abondance il y a près de 4 milliards d'années. Le rover a abrasé un disque de 5 cm de diamètre dans l'une des couches rocheuses les plus basses du delta, donc les plus anciennes, susceptibles d'avoir abrité de la vie. **F. N.**



TIMOFEY FEDOTENKO.

La cellule à enclumes de diamant a permis de reproduire la pression qui règne au centre d'Uranus.

Record mondial de pression au synchrotron de Grenoble

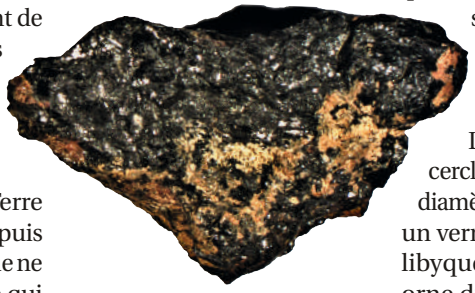
PHYSIQUE La pression au centre de la planète Uranus… reproduite dans un laboratoire en France. C'est le record mondial établi à l'ESRF, l'installation européenne de rayonnement synchrotron de Grenoble. L'expérience a atteint un seuil de l'ordre d'un térapascal (soit 1000 gigapascals), plus de trois fois la pression du centre de la Terre, grâce à un dispositif appelé cellule à enclumes de diamant. **O. L.**

SOURCE : LEONID DUBROVINSKY, UNIVERSITÉ DE BAYREUTH, ALLEMAGNE.

Un fragment d'étoile dans le désert égyptien

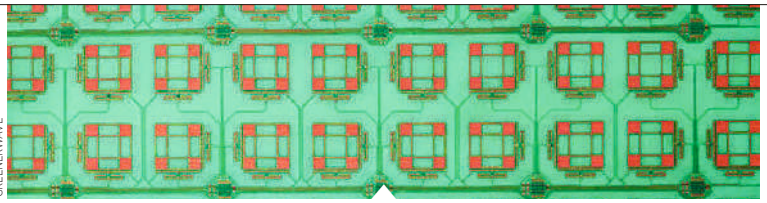
Cette pierre serait un vestige de l'explosion d'une naine blanche.

Hypatia pourrait bien être un morceau d'étoile tombé dans la grande mer de sable en Égypte. Découvert en 1996, ce fragment de 30 g de roche noire très dure contenant de minuscules diamants pose problème quant à son origine. Des études ont d'abord prouvé qu'il était composé de minéraux introuvables sur Terre et donc extraterrestres, puis que sa signature chimique ne ressemblait à rien de ce qui existe dans le Système solaire. La seule hypothèse restante est celle d'une supernova de type Ia : la destruction d'une naine blanche située dans un système binaire. Hypatia serait ainsi la première trace sur Terre de ce type d'explosions, rarissimes dans la Voie lactée. Son corps parent se serait formé aux confins du jeune Système solaire à partir d'atomes issus de la supernova, avant de se déplacer et de heurter la Terre, il y a 28 millions d'années. L'impact a vitrifié un cercle de sable de 80 km de diamètre et l'a transformé en un verre jaune appelé verre libyque, dont un fragment orne d'ailleurs une broche ayant appartenu au pharaon Toutankhamon. **J. I.**



ROMANO SERRA

Les 30 g de roche incrustée de petits diamants pourraient contenir du gaz de supernova.



GREENERWAVE

Le circuit imprimé, fixé sur une surface, réfléchit l'onde émise par une station de base, pour la renvoyer sur un terminal mobile.

Des « pixels » aux murs redirigent le signal 5G

NUMÉRIQUE En lieu et place des répéteurs et amplificateurs de signal, la start-up française Greenerwave a conçu un élément passif qui réfléchit les ondes et dont les premiers tests ont commencé par la 5G au Japon. Appelé « pixel », ce circuit imprimé se fixe sur des surfaces (mur, plafond). Quand il reçoit une onde émise par une station de base, il la redirige vers le terminal cible. **A. D.**

23 Le nombre d'acides aminés dans les poussières de l'astéroïde Ryugu

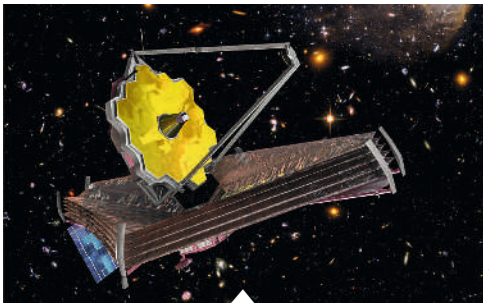
CHIMIE L'analyse des 5,4 grammes d'échantillons recueillis sur l'astéroïde Ryugu par la sonde japonaise Hayabusa-2 puis rapportés sur Terre en 2020 a révélé les premiers acides aminés prélevés directement dans l'espace. La détection de ces 23 composés organiques prouve qu'au moins certaines de ces briques élémentaires de la vie sur Terre pourraient avoir été formées dans des environnements spatiaux. **J. I.**

SOURCE : EIZO NAKAMURA, UNIVERSITÉ D'OKAYAMA, JAPON.

À SURVEILLER

Le télescope du siècle va livrer ses premières images

ASTRONOMIE Le 12 juillet, à 16 h 30 heure de Paris, le télescope spatial James-Webb livrera enfin ses premières images en couleurs. Après six mois passés à préparer ses instruments, en livrant au passage des premiers clichés de « réglage » prometteurs, il sera enfin en mesure de donner toute sa puissance. La Nasa laisse planer le suspense sur les premières cibles dévoilées. **F. N.**



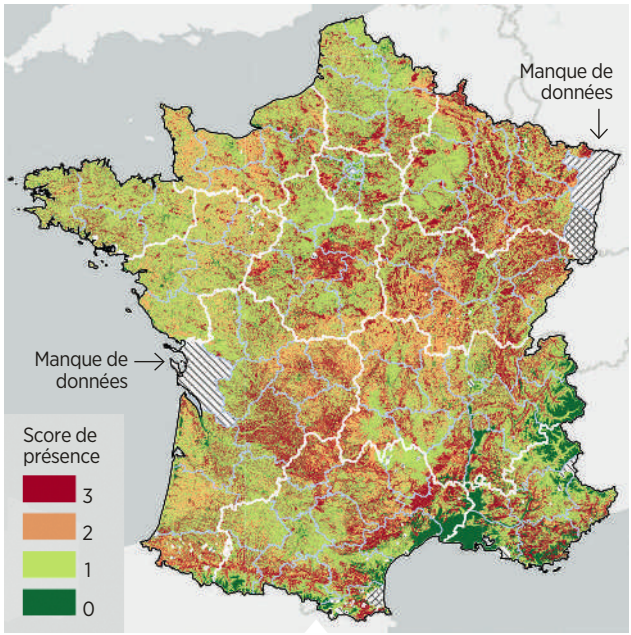
NASA/JWST

L'observatoire spatial James-Webb a été lancé en décembre 2021 (vue d'artiste).

La météo des tiques arrive

Cette carte de France regroupe toutes les informations sur la présence de l'acarien vecteur de la maladie de Lyme.

D'un simple coup d'œil, il sera peut-être bientôt possible de connaître le risque de se faire piquer par une tique selon la région et la saison. L'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (Inrae) et l'école supérieure vétérinaire de Lyon (VetAgro Sup) viennent en effet de publier deux articles scientifiques ouvrant la voie à une carte de France où figurent les lieux propices à l'épanouissement de l'acarien vecteur de la maladie de Lyme, selon les conditions de température et d'humidité qui favorisent son éclosion. Sont ainsi caractérisés les moments dans l'année où *Ixodes ricinus* a besoin de faire ses « repas de sang » pour accomplir son cycle. *« Les milieux forestiers de feuillus sont les plus favorables, au contraire des régions sèches, avec toute une gradation d'espaces où les populations sont moins nombreuses, comme les régions agricoles »*, expose Isabelle Lebert, chercheuse à l'Inrae de Clermont-Ferrand. Ces informations ont été croisées avec la répartition des animaux piqués par les tiques, obtenue grâce à l'Office français de la biodiversité (OFB) et les fédérations de chasse.



I. LEBERT ET AL.

Carte des habitats les moins propices (score 0) aux plus favorables (score 3) à la prolifération des tiques, établie à partir de données climatologiques.

BIOSPHOTO

Tenir compte de la variété des climats

Restait à connaître l'activité saisonnière de l'espèce. *« Depuis 2014, nous entretenons sept observatoires pour tenir compte de la variété des climats en France. Tous les mois nous y venons récolter les différents stades de tiques afin de mieux connaître l'intensité de leur activité selon la température et l'humidité »*, explique Karine Chalvet-Monfray, professeure en biostatistique et épidémiologie à VetAgro Sup de Lyon. Conclusion : les tiques aiment l'humidité au point qu'elles sont absentes du pourtour méditerranéen. L'acarien est surtout actif dès les premiers jours du printemps avec les premières chaleurs et les pluies et en fin d'automne et une partie de l'hiver. Des périodes où l'on pourra désormais déconseiller à l'avance de sortir en forêt sans se couvrir les membres. **L. C.**

NATUREPL/EBPHOTO

Accouplement de deux poulpes de récif en Thaïlande.

Pourquoi les femelles poulpes s'autodétruisent après l'étreinte

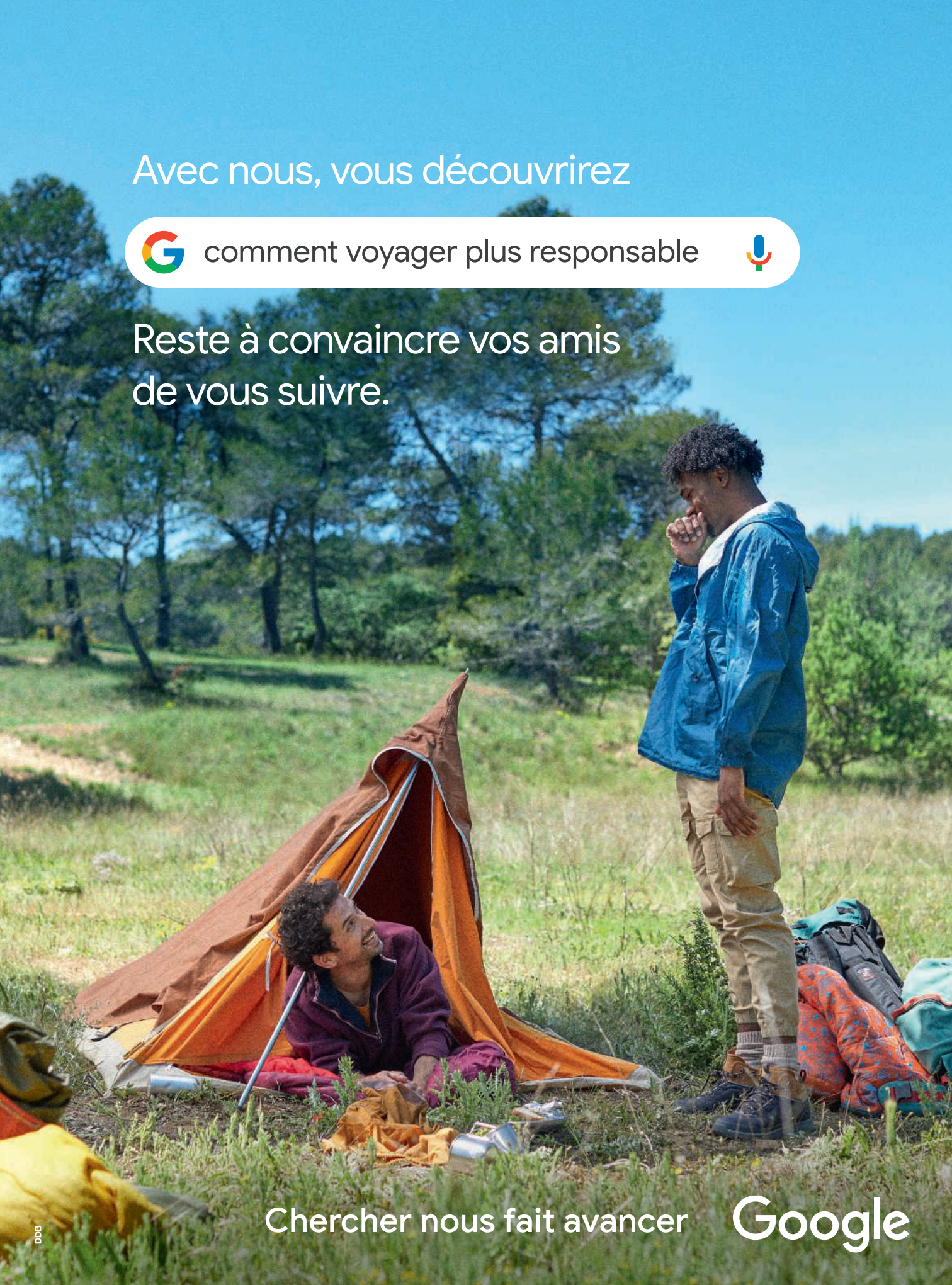
ÉTHOLOGIE Après avoir surveillé le développement de ses œufs, la femelle poulpe se laisse mourir de faim et s'automutile sous l'effet d'au moins une substance identifiée pour la première fois et produite par sa glande optique : le 7-déhydrocholestérol. Cette molécule existe également chez l'humain, et son accumulation pathologique peut aussi être associée à un syndrome d'automutilation. **P. K.**

SOURCE : YAN WANG, UNIVERSITÉ DE CHICAGO, ÉTATS-UNIS.

Les arbres remontent les sommets alpins

CLIMATOLOGIE Dans les Alpes, la végétation part à l'assaut des sommets selon le premier bilan satellite de sa progression, avec une remontée de la ligne des arbres dans 77 % des zones observées. Une tendance massive depuis 40 ans liée au réchauffement et aux pluies accrues en été. La couverture neigeuse n'a reculé que dans 9 % des sites, mais son épaisseur, non mesurée, a pu varier. **P. K.**

SOURCE : SABINE RUMPF, UNIVERSITÉ DE LAUSANNE, SUISSE.


Avec nous, vous découvrirez
comment voyager plus responsable
Reste à convaincre vos amis
de vous suivre.
Chercher nous fait avancer
Google
DDB

Une IA apprend le chant des coraux

En déchiffrant des sons inaudibles pour l'oreille humaine, des algorithmes analysent les signaux acoustiques des récifs coralliens pour en déduire leur vitalité.

TIM LAMONT, UNIVERSITY OF EXETER

Les paysages sonores des récifs sont enregistrés à l'aide d'hydrophones, des micros disposés sous l'eau.

Pour connaître l'état de santé d'un récif corallien, les scientifiques peuvent désormais compter sur l'aide d'une intelligence artificielle entraînée à reconnaître les « chants » de coraux sains et dégradés sur des enregistrements. Les paysages sonores des récifs coralliens sont en effet incroyablement complexes et diversifiés et leur bruit de fond diffère selon qu'ils sont plus ou moins habités par une faune elle-même plus ou moins en bonne santé. *« Le processus d'analyse de ces bandes-son est aussi difficile que chronophage et c'est là que l'IA fait la différence »*, note le biologiste marin Timothy Lamont, de l'université d'Exeter (Royaume-Uni). L'algorithme discerne des sons quasi imperceptibles pour les humains — jusqu'aux « frous-frous » des anémones — et ne se laisse pas tromper par des indicateurs tapageurs, comme une forte densité de crevettes qui claquent ou des chœurs répétitifs de poissons. Captant l'ensemble des signaux de vie sur la colonie, il réussit à identifier correctement la santé des récifs à 92 %. **R. M.**

EN DEUX MOTS

AGRICULTURE Le premier tracteur zéro émission, alimenté à l'ammoniac converti en hydrogène, a réussi sa première démonstration à l'Advanced Energy Center de l'université Stony Brook (États-Unis). **MOUSTIQUES** L'évolution a sélectionné chez les moustiques-tigres des neurones liés à la reconnaissance des odeurs humaines, selon une étude de *Nature*. **BIODIVERSITÉ** 800 hamsters d'Alsace ont été réintroduits depuis 2017 aux abords de la nouvelle autoroute A355 près de Strasbourg pour qu'ils recolonisent le milieu.

Un robot infiltré chez les manchots

ÉTHOLOGIE Plus de 1000 manchots empereurs de la colonie de la baie d'Atka en Antarctique peuvent désormais être identifiés individuellement grâce au travail mené depuis 2017 par le rover Echo. Ce petit robot semi-autonome doté d'une caméra 360° espionne discrètement cette colonie pour permettre aux chercheurs d'en étudier les comportements. **H. J.**

SOURCE : D. ZITTERBART, INSTITUT OCÉANOGRAPHIQUE DE WOODS HOLE, ÉTATS-UNIS

HUSKY UGV

Une caméra 360° permet d'observer les comportements individuels et collectifs de la colonie.

1,6 °C

La hausse moyenne des températures dans les Pyrénées entre 1959 et 2020

CLIMATOLOGIE La chaîne franco-ibérique a déjà dépassé la limite haute de 1,5 °C de l'accord de Paris. Il n'y a désormais plus que 16 jours par an où les températures sont négatives. Depuis 1983, la moitié des glaciers pyrénéens ont disparu, selon l'Observatoire pyrénéen du changement climatique. **L. C.**

Une même toxine pour tous les champignons mortels

MYCOLOGIE Une équipe franco-chinoise vient d'identifier les quatre gènes responsables de la toxicité des espèces mortelles de champignons. Elles génèrent toutes la même toxine, l'amanitine, ce qui signifie qu'elles ont un ancêtre commun. Les plus dangereuses comme l'amanite phalloïde ont ces quatre gènes répliqués dix fois, ce qui augmente la teneur en poison. **L. C.**

SOURCE : HONG LUO, ACADÉMIE CHINOISE DES SCIENCES, KUNMING, CHINE

BIOSPHOTO

► **L'amanite phalloïde** contient une quantité élevée d'amanitine, un poison mortel.

RCS Paris B 438 679 664 – 150 000 euros - Atout France IM 075 100 099 – AdobeStock.

RIVAGES
DU MONDE

Voguer. Échanger. Rêver

Croisière
Au fil du Mékong
D'octobre à avril

Découvrez le Mékong grâce à un itinéraire inédit combinant Vietnam, Cambodge et les fabuleux temples d'Angkor à bord d'un navire intimiste.

SA05

RÉSERVEZ VOTRE CROISIÈRE AU 01 83 96 85 03 OU SUR WWW.RIVAGESDUMONDE.FR

JC CAISSARD

QUESTIONS À

Jean-Claude Caissard

Chercheur au laboratoire de biotechnologies végétales appliquées aux plantes aromatiques et médicinales de l'université de Saint-Étienne

« Des virus à l'origine du parfum des roses »

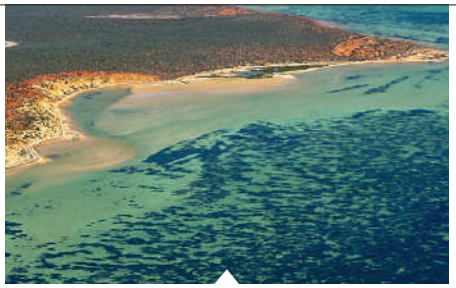
La présence d'un taux élevé de géraniol — molécule responsable des senteurs de la reine des fleurs — est le fruit de l'attaque de virus sur un églantier, un rosier sauvage, il y a plusieurs millions d'années.

Pourquoi vous être intéressé à l'origine de l'odeur des roses ?
En 2015, nous avions découvert le gène à l'origine du géraniol chez les roses de jardin. Nous nous sommes donc demandé si leur parfum était la conséquence d'une sélection par l'humain, ou s'il était déjà une caractéristique des roses sauvages. Grâce à l'analyse d'une trentaine d'espèces, nous constatons que ce parfum existait bien avant la domestication des roses.

Comment un virus peut-il s'immiscer dans le génome d'une plante ?
Lorsqu'un virus contamine son hôte, il peut parfois s'intégrer dans les chromosomes et devenir un transposon, appelé aussi « gène sauteur ». Se déplaçant dans le génome, le transposon a provoqué par hasard la duplication d'un gène chez un églantier. Ce trait s'est transmis et renforcé au fil des générations. Ainsi, plus la rose a de copies de ce gène, plus elle produit de géraniol.

En quoi la production de géraniol a pu profiter aux roses ?
Nous n'en avons pas la certitude, mais ce dégagement odorant aurait permis d'attirer les insectes pollinisateurs et favorisé la reproduction des espèces de roses capables de produire du géraniol.

Propos recueillis par E. P.


ANGELA ROSSEN

« Posidonia australis » couvre 200 km² dans la baie de Shark, en Australie.

Le plus grand organisme vivant au monde

BIODIVERSITÉ Des analyses génétiques montrent que le tapis tentaculaire de *Posidonia australis,* qui s'étend sur 200 km² le long des côtes ouest de l'Australie, est en fait une seule plante qui se clone depuis… 4500 ans ! Il s'agit du plus grand clone et même organisme vivant au monde, battant tous les records marins et terrestres, et notamment les 0,43 km² du Pando, colonie clonale de 47 000 peupliers faux-tremble aux États-Unis. **R. M.**

SOURCE : ELIZABETH SINCLAIR, UNIVERSITÉ D'AUSTRALIE-OCCIDENTALE.

Des bactéries dans le venin de serpent

BIOLOGIE Considéré jusqu'ici comme stérile et antimicrobien, le venin peut en réalité abriter des bactéries vivantes. C'est ce qu'a découvert une équipe grâce à l'analyse génétique des venins de cinq espèces de serpent et deux d'araignées dans lesquels de l'ADN microbien a été retrouvé. De quoi mieux soigner les infections qui se déclarent chez trois quarts des victimes de piqûre ou de morsure. **A.-S. T.**

SOURCE : STERGHIOS MOSCHOS, UNIVERSITÉ DE WESTMINSTER, ROYAUME-UNI.

IL A DIT

« Lorsqu'elle a été découverte, c'était incroyablement excitant car aucune tortue n'avait été vue sur cette île depuis plus de 100 ans et nous pensions que l'espèce était éteinte »

Stephen Gaughran, biologiste à l'université de Princeton (États-Unis), qui a découvert un spécimen de tortue géante fantastique de l'île Fernandina (*Chelonoidis phantasticus*) aux Galápagos, baptisé Fernanda pour l'occasion.

Le plus vieil arbre du monde a 5484 ans

DENDROLOGIE Un cyprès de Patagonie (*Fitzroya cupressoides*) situé dans le parc national d'Alerce Costero, au Chili, serait l'arbre le plus vieux du monde. Connu sous le nom de « Gran Abuelo » (arrière-grand-père) et haut de près de 60 mètres, il serait âgé de 5484 ans selon l'étude en cours de publication d'un chercheur chilien. Si l'estimation se confirmait, le cyprès détrônerait ainsi « le Mathusalem », un pin de Bristlecone en Californie, âgé de 4850 ans. **S. V.**

BOXRICHTER/TWITTER

Ce cyprès de Patagonie, situé au Chili, mesure près de 60 mètres de haut.

Transmettre l'espoir de vaincre le cancer

Léguez à l'Institut Curie, 1er Centre français de recherche en cancérologie

Transmettre tout ou une partie de ses biens à l'Institut Curie, premier centre français de recherche en cancérologie, est un formidable message d'espoir pour tous ceux qui luttent contre le cancer.

En soutenant les efforts de l'Institut Curie, fondé par Marie Curie, vous effectuez un geste de générosité envers les générations futures, vous donnez aux chercheurs et médecins les moyens de prendre le cancer de vitesse et associez votre nom à ce combat pour la vie.

LEGS - DONATIONS - ASSURANCES-VIE

institut Curie

ENSEMBLE, PRENONS LE CANCER DE VITESSE

curie.fr

Pour tout renseignement contacter Catherine Ricatte - Institut Curie :
26, rue d'Ulm - 75248 Paris Cedex 05 - 01 56 24 55 34 - catherine.ricatte@curie.fr

institut Curie

BULLETIN DE DEMANDE D'INFORMATION à compléter à retourner sous enveloppe à l'adresse ci-dessus.

☐ Je désire recevoir votre documentation sur les legs, donations et assurances-vie en faveur de l'Institut Curie.

☐ Je souhaite être contacté en toute confidentialité par votre responsable legs, donations et assurances-vie.
Vous pouvez me joindre au numéro ci-contre ▶

☐ Mme ☐ M. Nom : .....

Prénom : .....

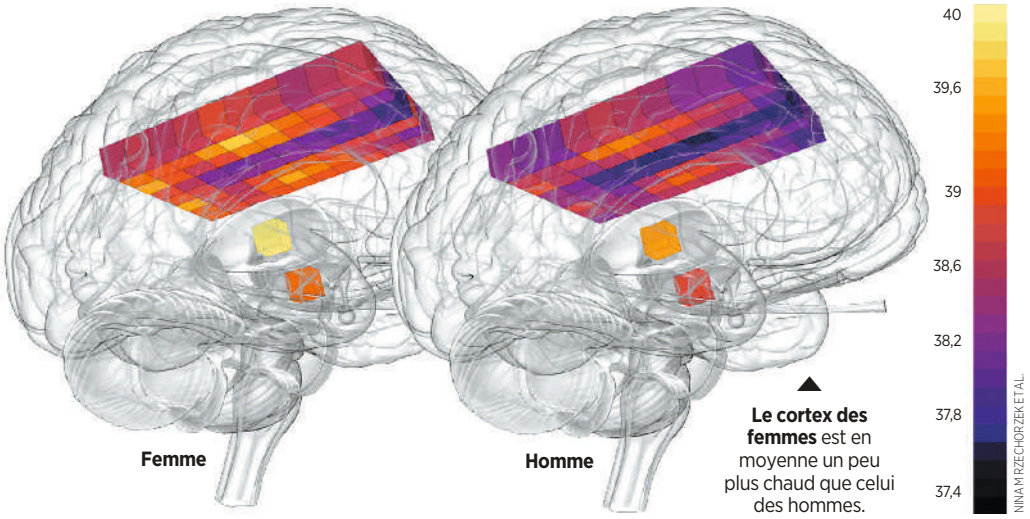
Adresse : .....

Code postal : |_|_|_|_|_|

Ville : .....

Tél. : |_|_| |_|_| |_|_| |_|_| |_|_|

SA0722



Le cortex des femmes est en moyenne un peu plus chaud que celui des hommes.

NINA M. RZECHORZEK ET AL.

La température du cerveau peut monter à 41 °C

Elle varie selon l'heure de la journée, l'âge, le sexe et la zone cérébrale observée, révèle une étude britannique.

Alors que l'on croyait la température de notre cerveau identique à celle du reste de notre corps, des chercheurs viennent de montrer qu'elle varie en fait selon l'heure de la journée, l'âge, le sexe et la zone cérébrale observée. Au point qu'au cœur du cerveau d'une femme en post-ovulation, le mercure peut grimper jusqu'à 41 °C ! C'est ce que montre une équipe britannique dans la revue *Brain*, l'une des premières à s'intéresser sérieusement à la température qu'il fait dans le cortex. Pour s'en convaincre, les scientifiques ont mesuré, grâce à l'imagerie par résonance magnétique, la température cérébrale de 40 volontaires sains âgés de 20 à 40 ans matin, midi et soir, le tout sur une période de 14 jours. Alors que la température relevée dans la bouche des sujets était d'environ 36 °C, celle de leur cerveau variait de 36,1 à 40,9 °C, soit une moyenne de 38,5 °C.

L'organe n'en reste pas moins sain

« Le résultat le plus surprenant de notre étude est que le cerveau humain sain peut atteindre des températures qui seraient diagnostiquées comme une forte fièvre n'importe où ailleurs dans le corps », commente John O'Neill, spécialiste des rythmes biologiques à l'université de Cambridge (Royaume-Uni), qui a dirigé ces travaux. Plus surprenant encore : en mesurant ces températures chez 114 patients atteints de lésions cérébrales, les chercheurs ont constaté des variations plus importantes encore, de 32,6 à 42,3 °C. Surtout, ils ont pu établir que la présence d'un rythme quotidien était un facteur prédictif de la survie après une lésion cérébrale traumatique, bien plus que les températures minimum et maximum. **C. G.**

Un hydrogel pour soulager la lombalgie chronique

RHUMATOLOGIE
Un hydrogel expérimental à injecter dans les disques intervertébraux s'est avéré sûr et efficace dans un petit essai pour soulager la lombalgie chronique due à la dégénérescence de ces disques. Administré de façon mini-invasive, l'hydrogel pourrait limiter le recours à la chirurgie ouverte sur la colonne vertébrale. Il a déjà reçu le statut de « dispositif révolutionnaire » de l'Agence américaine du médicament. H. J.

SOURCE : DOUGLAS BEALL, SOCIÉTÉ AMÉRICAINE DE RADIOLOGIE INTERVENTIONNELLE, ÉTATS-UNIS.

Le cannabis thérapeutique, efficace quand il est fort en THC

PHARMACOLOGIE Une vaste revue de la littérature montre que les produits au cannabis, désormais prescrits contre les douleurs chroniques dans plusieurs pays, ne semblent vraiment efficaces que s'ils contiennent des taux élevés de THC, la molécule psychoactive de cette drogue, par rapport au cannabidiol (CBD). **H. J.**

SOURCE : MARIAN MCDONAGH, UNIVERSITÉ DE L'OREGON, ÉTATS-UNIS.

CHRIS GALLAGHER/SCIENCE PHOTO LIBRARY/SUCRE SALÉ

La concentration en molécule psychoactive est déterminante.

© Francesco Zizola

Pour que demain les plus fragiles aient toujours leurs médecins

Vous pouvez transmettre vos biens à Médecins Sans Frontières.

En transmettant vos biens à Médecins Sans Frontières, vous continuez à faire vivre vos convictions et permettez de financer un accès durable aux soins aux populations victimes de crises humanitaires. Depuis près de 50 ans, MSF s'engage à défendre et préserver la santé de tous. Grâce à votre legs, votre donation ou votre assurance-vie, vous serez à nos côtés pour que demain les plus fragiles aient toujours leurs médecins.

LEGS - DONATIONS - ASSURANCES-VIE / Demande de documentation gratuite et confidentielle

À renvoyer, sans affranchir votre enveloppe, à Médecins Sans Frontières Libre réponse - Autorisation 10617 75884 Paris Cedex 18

☐ **Oui, je souhaite recevoir sans engagement de ma part, votre documentation sur les legs, donations et assurances-vie.**

MES COORDONNÉES ☐ M ☐ Mme

Prénom : ..... Nom : .....

Adresse : .....

Code postal : |_|_|_|_|_| Ville : .....

E-mail .....@.....

Téléphone : |_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

© MSF

Catherine Bechereau, chargée des relations testateurs, répond à vos questions en toute discrétion.

TÉL : 01 40 21 29 09

E-MAIL : relations.testateurs@paris.msf.org

Les informations recueillies dans ce formulaire sont destinées au département de la collecte de dons et aux tiers mandatés par MSF à des fins de gestion interne et pour faire appel à votre générosité. Elles ne sont conservées que pendant la durée strictement nécessaire à la réalisation de ces finalités.
Ces données peuvent faire l'objet d'un transfert, notamment vers un pays en dehors de l'Union Européenne, qui sera encadré par les garanties appropriées requises par la réglementation sur la protection des données. Conformément au RGPD et à la Loi Informatique et Libertés, vous disposez de droits sur vos données (accès, rectification, suppression, limitation, portabilité, opposition) quant à leur traitement et à leur utilisation à des fins de prospection, que vous pouvez exercer en nous écrivant par e-mail à donateurs@paris.msf.org ou par courrier à 14-34 avenue Jean Jaurès - 75019 PARIS. Pour plus d'information, vous pouvez consulter notre politique de confidentialité disponible sur notre site internet.

LEGS2212

Reconnue d'utilité publique, Médecins Sans Frontières est habilitée à recevoir des legs, donations, assurances-vie exonérés de droits de succession.

MEDECINS SANS FRONTIERES

50 ANS D'HUMANITÉ

14-34 avenue Jean-Jaurès 75019 Paris
https://leguez.msf.fr

Résultats sans précédent contre l'obésité

PHARMACOLOGIE Dans un essai final de phase 3, un médicament expérimental contre l'obésité a obtenu des résultats sans précédent, au point de faire perdre 20 % de leur poids à des personnes obèses. Développé par la société Eli Lilly, le tirzépatide agit en augmentant les niveaux des hormones GLP-1 et GIP qui jouent un rôle crucial dans la régulation du métabolisme et de la sensation de faim. **H. J.**

DAVID FUENTES PRIETO / SHUTTERSTOCK

Apprendre à jouer de l'instrument augmenterait les capacités d'attention.

La pratique du tambour améliore la concentration des autistes

PSYCHIATRIE L'apprentissage de la caisse claire accroît les capacités d'attention et réduit l'hyperactivité des adolescents autistes, révèle une étude franco-britannique. Les médecins ont observé un développement des connexions cérébrales impliquées dans le contrôle de l'action et de son inhibition. **P. K.**

SOURCE : MARIE-STÉPHANIE CAHART, KING'S COLLEGE LONDON, ROYAUME-UNI.

110 000

Le nombre d'enfants décédés de la bronchiolite en 2019

INFECTIOLOGIE Le virus respiratoire syncitial (VRS) à l'origine des bronchiolites a provoqué le décès de 110 000 enfants de moins de 5 ans en 2019, selon une estimation mondiale publiée dans *The Lancet*. Les pays en développement concentrent 97 % de ces décès (chez les moins de 6 mois dans près de la moitié des cas) qui ont lieu le plus souvent hors de l'hôpital. Une dizaine de vaccins sont en développement. **P. K.**

ROBERTO BOTTINI / NEUROPSYCHOLOGIA

Un plateau composé de 40 textures différentes a été présenté au patient aveugle.

Un aveugle de naissance, premier synesthète du genre

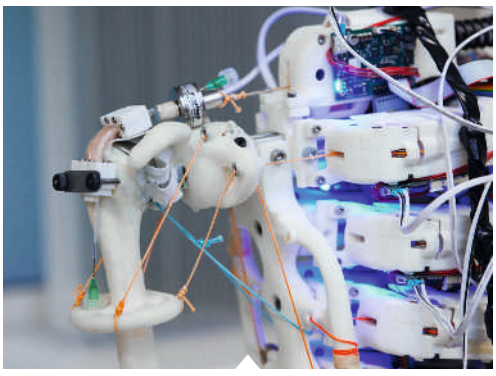
NEUROLOGIE En Italie, un homme de 40 ans est devenu le premier aveugle de naissance diagnostiqué synesthète, un état mental où certains sens s'associent et se mélangent. Pour lui, les nombres, les lettres, les jours et les mois ont une texture. Le chiffre 3 a celle du velours et le mois d'avril lui fait penser à du plastique. **C. L.**

SOURCE : ROBERTO BOTTINI, UNIVERSITÉ DE TRENTE, ITALIE.

Des tissus humains cultivés grâce à la robotique

Cette méthode originale permettrait de créer des greffons sur mesure pour des patients blessés.

Une équipe de l'université d'Oxford (Royaume-Uni) est parvenue à cultiver des tendons humains bio-artificiels *in vitro* entraînés sur une épaule robotique. Des cellules humaines ont été ensemencées sur 200 filaments biocompatibles imitant la structure souple d'un vrai tendon. Il s'agissait ici de reproduire le tendon reliant le bras à l'épaule. Le dispositif était ensuite fixé sur l'épaule robotique. Une fois en mouvement grâce au bras mobile, les cellules ont proliféré en encaissant les charges et les torsions que subit une épaule humaine en activité. Après 14 jours, les filaments avaient pris l'apparence d'un véritable tendon. Les signaux mécaniques déclenchés par l'épaule robotique semblent bien améliorer la qualité du greffon, l'adaptant aux caractéristiques d'une articulation. *« Si elle réussit à faire croître des greffons de tendons, cette approche pourra être appliquée à d'autres tissus, comme les muscles »*, espère Pierre-Alexis Mouthuy, à l'origine de l'expérience. **E. P.**



FISHER STUDIOS

Cette épaule robotique a servi de support à la création de tendons humains bio-artificiels sur mesure.

3D BIO THERAPEUTICS / AFP

Ce lobe a été imprimé en 3D à partir d'une encre biologique faite des cellules de la patiente.

Un implant d'oreille bio-imprimé

BIOTECHNOLOGIE Une équipe américaine a annoncé avoir réussi à greffer pour la première fois un implant d'oreille créé à partir des cellules d'une patiente. Celles-ci ont été utilisées comme une encre biologique par une imprimante 3D. Cette procédure annoncée par la société 3DBio Therapeutics doit pouvoir aider les personnes souffrant de microtie, une malformation de l'oreille interne. **H. J.**

Un rein de 3e main, une première en France

WILL & DENI MCINTYRE / BSIP

Le greffon a été transplanté 48 heures après le décès du premier receveur.

CHIRURGIE Ce rein a servi à trois personnes. Transplanté une première fois il y a dix ans, il a été récupéré après l'arrêt cardiaque de son premier receveur pour être greffé sur un troisième patient, une première en France. 48 heures seulement, il était à nouveau fonctionnel et plusieurs mois après, l'heureux greffé n'a plus besoin de dialyse. **C. G.**

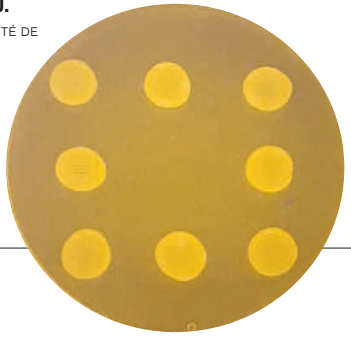
SOURCE : FRANÇOIS GAUDEZ, AP-HP, FRANCE

Des bactéries OGM jouent au morpion

GÉNÉTIQUE Une souche d'*Escherichia coli* a été génétiquement modifiée pour apprendre à jouer au morpion. Surnommées « marionnettes », ces bactéries cultivées dans des compartiments similaires à une grille du célèbre jeu sont capables de modifier l'activité de certains gènes en réponse à 12 produits. Une « punition » d'antibiotiques leur était administrée quand elles se déplaçaient sans respecter les règles, jusqu'à ce qu'elles apprennent à se placer pour vaincre les chercheurs. **H. J.**

SOURCE : ADRIAN RACOVITA, UNIVERSITÉ DE VALENCE, ESPAGNE.

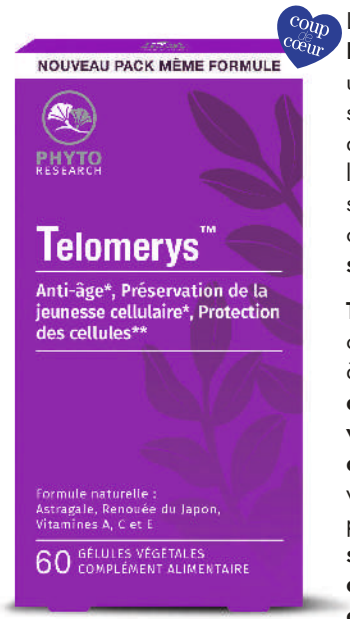
ALFONSO JARAMILLO/CSIC



La souche modifiée d'« E. coli » a appris à réagir pour se conformer au jeu.

www.lesproduitsdumois.com

INNOVATION ANTI-ÂGE



Le laboratoire français **PhytoResearch** a mis au point une **formule naturelle** basée sur les résultats des dernières avancées scientifiques sur l'astragaloside IV, une substance issue de l'Astragale capable de **ralentir le vieillissement cellulaire.**

Telomerys associe un extrait concentré de racine d'Astragale à du resvératrol, un **puissant antioxydant**, ainsi que des **vitamines A, C et E**. **Formule anti-âge inédite**, deux gélules végétales par jour suffisent pour constater **une diminution significative des rides**, une **amélioration des fonctions cognitives** (mémoire, concentration) et un **regain d'énergie**.

● En pharmacie - Boîte de 60 gélules végétales - ACL 6024256 - Convient aux végétaliens - Plus d'infos au 01 83 96 83 01 (tarif local) - telomerys.com

PERTE DE CONCENTRATION ET DE MÉMOIRE ?

Les comprimés naturels **Cerveau Clair** apportent en quelques heures des vitamines et des nutriments aux zones de la concentration et de la mémoire du cerveau.

Ils contiennent de la L-théanine issue du Thé vert, des extraits de Grenade, de Pin maritime et de Noix, ainsi que des Vitamines B et de l'Iode, dont l'efficacité pour améliorer les performances mentales et les fonctions cognitives (mémoire, attention, concentration) a été démontrée dans de nombreuses études scientifiques.

Ils protègent également le cerveau du vieillissement et réduisent la fatigue.

Cerveau Clair tonifie et revitalise le cerveau pour aider à garder les idées claires !

● En pharmacie - Boite de 60 cp ACL 2951863
Questions ? New Nordic répond au 01 85 12 12 12 (tarif local)
www.vitalco.com

POUR VOTRE SANTÉ, PRATIQUEZ UNE ACTIVITÉ PHYSIQUE RÉGULIÈRE
Pour paraître dans cette rubrique, R'Médias 01 46 48 85 41 - photos D.R.

Une maladie rare soignée grâce à des cellules de cordon ombilical

Une fillette a survécu à une forme héréditaire d'hypertension artérielle pulmonaire.

Atteinte d'une forme héréditaire mortelle d'hypertension artérielle pulmonaire, une fillette a été soignée grâce aux cellules souches du cordon ombilical de sa sœur. C'est la première fois que l'évolution de cette maladie rare est stoppée. Alors qu'elle n'avait que 3 ans, elle a bénéficié d'un protocole expérimental mis au point à l'école de médecine de Hanovre, en Allemagne, et détaillé dans *Nature Cardiovascular Research*. Au lieu d'injecter directement les cellules souches récupérées, les médecins ont préparé une sorte d'infusion : le liquide nutritif dans lequel étaient cultivées les cellules était régulièrement changé et conservé. C'est cette infusion qui a été perfusée durant six mois dans les vaisseaux sanguins des poumons et du cœur de la petite fille. Au cours des trois premiers mois, la petite fille a grandi de 10 cm, alors même que sa croissance s'était arrêtée depuis un an. Surtout, alors qu'elle est désormais âgée de 6 ans, son hypertension pulmonaire s'est drastiquement améliorée et la greffe de poumon qu'elle aurait dû subir à ses 3 ans n'est plus d'actualité. **H. J.**

TEKIMAGE/SCIENCE PHOTO LIBRARY/SUCRESALÉ

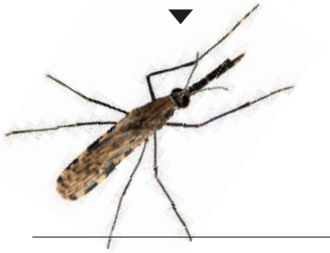
Les cellules souches ont été cultivées dans un liquide nutritif qui a ensuite été perfusé durant six mois chez l'enfant.

Le paludisme se transmet aussi en plein jour

INFECTIOLOGIE Une analyse détaillée des piqûres de moustiques vecteurs du paludisme en République centrafricaine a révélé que, contrairement à ce que l'on pensait, nombre d'entre elles se produisent à l'intérieur en pleine journée, lorsque les gens ne sont pas protégés par les moustiquaires installées pour la nuit. Jusqu'à 30 % des piqûres à risque se produiraient en plein jour. **H. J.**

SOURCE : DIEGO AYALA, UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER, FRANCE.

« Anopheles gambiae », vecteur du paludisme, ne pique pas seulement la nuit mais aussi le jour.



INSTITUT PASTEUR

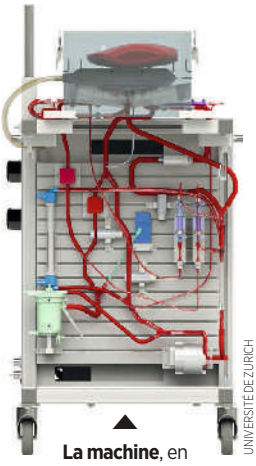
ELLE A DIT

« Nous avons trouvé la souche bactérienne source de la peste noire et nous connaissons même la date exacte : l'année 1338 »

Maria Spyrou, chercheuse à l'université de Tubingue (Allemagne) et auteure principale d'une étude ayant daté et localisé au Kirghizistan l'émergence de la bactérie responsable de l'épidémie de peste noire.

Un foie transplanté 3 jours après prélèvement

MÉDECINE **Première mondiale : une machine reproduisant le fonctionnement du corps a permis de conserver et régénérer un foie humain durant trois jours avant que l'organe ne soit greffé. Le dispositif mis au point par le groupe de recherche Suisse Liver4Life est équipé d'une pompe et d'un oxygénateur faisant office de cœur et de poumons, tandis qu'une unité de dialyse assure la fonction rénale et qu'un mélange d'hormones et de nutriments remplace l'activité des intestins et du pancréas. H. J.**

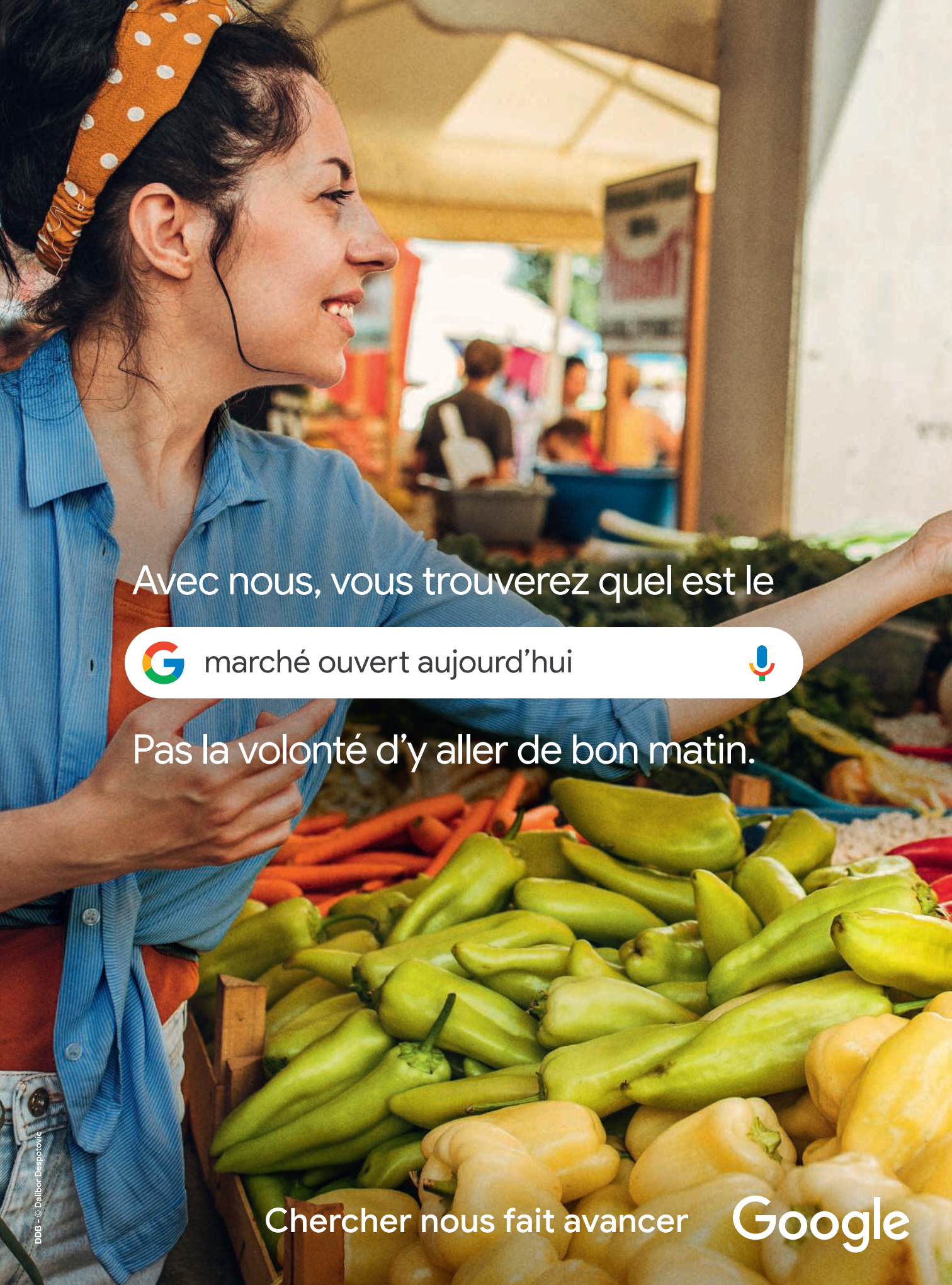


UNIVERSITÉ DE ZURICH

La machine, en reproduisant les fonctions du corps, a permis de conserver un foie humain.

Une thérapie génique pour les enfants

GÉNÉTIQUE Les *« superbes »* résultats des essais de thérapie génique menés grâce à l'outil d'édition génétique CRISPR contre la drépanocytose chez les adultes ouvrent la voie à l'inclusion des enfants de moins de 12 ans dans les études. C'est ce qu'a annoncé une équipe internationale travaillant à corriger l'anomalie génétique à l'origine de cette maladie du sang lors du congrès annuel de l'Association européenne d'hématologie. **H. J.**


Avec nous, vous trouverez quel est le
marché ouvert aujourd'hui
Pas la volonté d'y aller de bon matin.
Chercher nous fait avancer
Google
DDB - © Dalibor Despotovic

ANADOLU AGENCY / AFP

Couvert de hiéroglyphes, l'objet de 1,66 m de haut a été authentifié, mais son origine est douteuse.

Louvre Abu Dhabi, la stèle par laquelle le scandale est arrivé

Ce trésor archéologique exceptionnel pourrait être issu d'un trafic.

Depuis le 25 mai, une stèle en granit rose, gravée du nom de Toutankhamon, est au cœur d'un immense scandale. Exposée depuis 2017 sous la coupole du Louvre Abu Dhabi (Émirats arabes unis), elle est au centre d'une affaire tentaculaire mêlant spécialistes de renom, maisons de vente prestigieuses et grands musées internationaux, qui a débouché sur la mise en examen de l'ancien président du Louvre, Jean-Luc Martinez, pour *« complicité d'escroquerie en bande organisée et blanchiment de biens provenant d'un crime ou d'un délit »*. Du jamais vu ! Trésor archéologique exceptionnel, la stèle avait été acquise par le Louvre Abu Dhabi en 2016 pour 8,5 millions d'euros, en plus de quatre autres antiquités, et ce sont les certificats d'origine de ces cinq pièces qui intéressent l'Office central de lutte contre le trafic des biens culturels. Car la stèle pourrait être issue d'un trafic.

Une rare pièce intacte du temps de Toutankhamon

Décret royal datant de l'an IX du règne de Toutankhamon (1336-1327 avant J.-C.), cet objet de 1,66 m couvert de hiéroglyphes est une rare pièce intacte contemporaine du règne de l'enfant roi. Un fait *« inhabituel pour un souverain dont, à l'exception de la tombe, les édifices ont été martelés pour en effacer l'existence »*, explique l'égyptologue Marc Gabolde (université Montpellier-III), qui a étudié l'objet en 2018. Concluant sur son authenticité, il avait dès cette époque alerté sur sa provenance douteuse. Le spécialiste a situé sa possible origine dans la région d'Abydos, au sud de l'Égypte. À Paris, à la suite du scandale, le ministère de la Culture a annoncé la mise en place d'une mission d'évaluation des procédures d'acquisition des biens culturels, dont les conclusions seront rendues cet été. Jean-Luc Martinez, qui conteste les accusations, a été mis « en retrait » de ses fonctions d'ambassadeur pour la coopération internationale dans le domaine du patrimoine. **B. A.**

Des termites champions de traversée transocéanique

ENTOMOLOGIE **Une analyse phylogénétique montre que la famille des termites de bois sec s'est répandue dans le monde en traversant les océans sur des radeaux de bois flotté plus de 40 fois ces 50 derniers millions d'années. Les rôles sociaux n'étant pas figés chez cette espèce, les ouvriers devenaient reproducteurs une fois débarqués pour fonder de nouvelles colonies.** **R. M.**

SOURCE : ALES BUCEK, UNIVERSITÉ D'OKINAWA, JAPON.

Denisova a bien vécu en Asie du Sud-Est

PALÉOANTHROPOLOGIE Une dent d'enfant vieille de 130 000 ans découverte dans une grotte au Laos confirme que des humains de Denisova ont vécu dans le climat tropical d'Asie du Sud-Est. C'est donc bien dans cette zone que cette espèce disparue, identifiée en 2010 en Sibérie, s'est hybridée avec des ancêtres des populations actuelles du Sud-Est asiatique et d'Océanie. **R. M.**

SOURCE : C. ZANOLLI, UNIVERSITÉ DE BORDEAUX/CNRS, FRANCE.

F. DEMETER ET AL.

Cette molaire trouvée au Laos aurait appartenu à une jeune dénisovienne il y a 130 000 ans.

«ABSOLUMENT JUBILATOIRE, PASSIONNANT.»

Elisabeth Quin, *Arte*

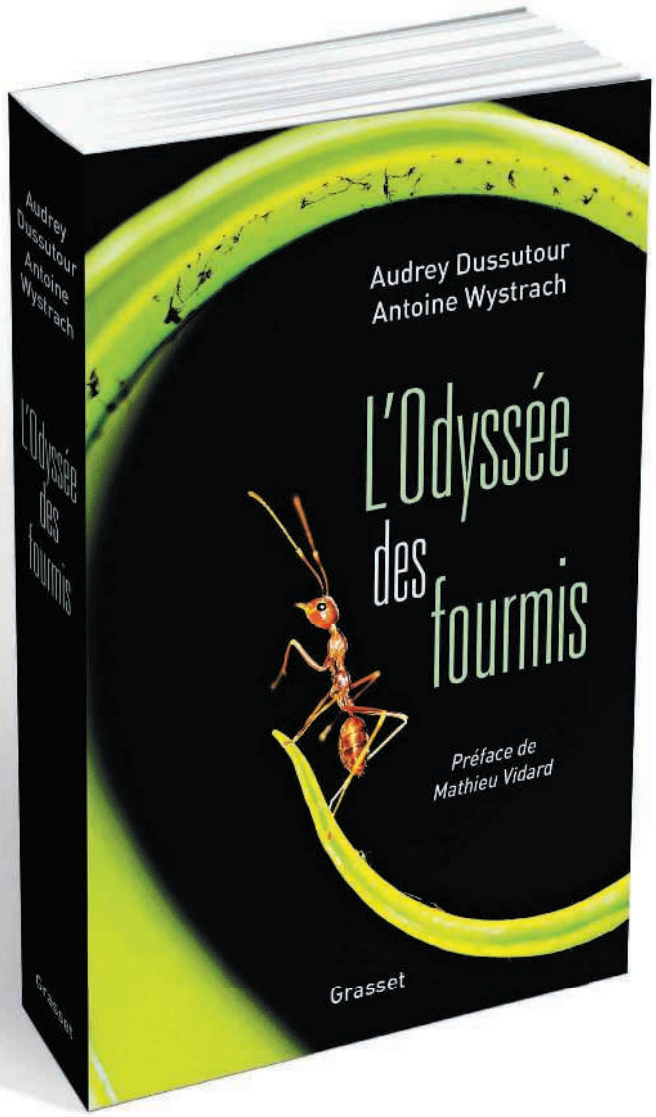
«Vous pensiez tout savoir sur les fourmis ? Vous allez découvrir leur génie et les exploits incroyables dont elles sont capables.»
Ali Baddou, *France 5*

«Vous ne pourrez plus marcher sur une fourmi de votre vie, même sans faire exprès !»
Yann Barthès, *Quotidien*

«Un livre passionnant qui nous replonge dans notre enfance.»
Laurent Delahousse, *France 2*

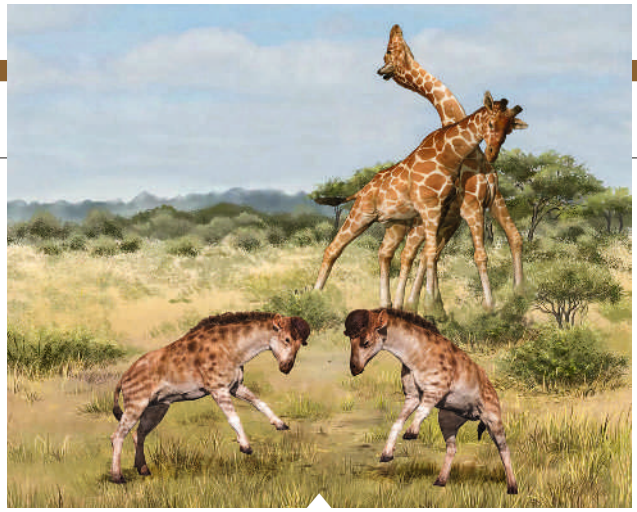
«Tout le monde doit lire *L'Odyssée des fourmis* !»
Alba Ventura, *RTL*

DANS TOUTES LES LISTES DE MEILLEURES VENTES



Le cou des girafes s'est allongé lors de combats

Cette hypothèse contredit l'idée que le cou de ces ongulés s'est modifié pour aller manger des végétaux haut perchés.



WANG YU, GUO XIAOCONG

L'ancêtre de la girafe actuelle avait des vertèbres cervicales courtes (au premier plan). Elles se seraient allongées, favorisant les coups de tête (vue d'artiste).

C'est une histoire de gros muscles et de taille : la compétition sexuelle serait le moteur de l'allongement du cou des girafes. Une hypothèse qui contredit l'idée bien ancrée selon laquelle l'évolution a sélectionné les girafes au long cou capables d'aller croquer des végétaux haut perchés. C'est la découverte d'un fossile de 17 millions d'années de cervidé, *Discokeryx xiezhi*, équipé d'un épais disque osseux au sommet du crâne et de vertèbres cervicales ultrasolides mais courtes, qui sème le trouble : son anatomie suggère que les mâles se combattaient à coups de tête pour gagner la faveur des femelles. Un comportement que les girafes modernes adoptent aussi en balançant puissamment leur tête contre celle de leur adversaire. C'est donc pour gagner en force que les giraffidés au long cou se sont imposés. Un avantage au combat qui leur a également permis, secondairement, de profiter de ressources alimentaires inaccessibles aux autres brouteurs. **J. I.**

EN DEUX MOTS

PALÉOCLIMAT Le refroidissement global qui s'est produit en 1627 avant notre ère résulte d'une éruption colossale dans la chaîne aléoutienne, en Alaska. **AMÉRIQUE PRÉCOLOMBIENNE** Trois rares momies de souverains incas pourraient se trouver dans un cimetière de l'époque coloniale espagnole mis au jour à Lima (Pérou). **ARCHÉOLOGIE** Des chercheurs de l'Inrap ont commencé la fouille de l'épave d'un voilier en bois du VII^e^ ou VIII^e^ siècle, découverte en 2019 près de Bordeaux.

UNIVERSITIES OF FREIBURG AND TÜBINGEN, KAO

La sécheresse a fait ressurgir les vestiges vieux de 3400 ans.

Une cité engloutie découverte en Irak

ARCHÉOLOGIE Autrefois située sur les rives du Tigre, en Mésopotamie, une cité engloutie de l'âge du bronze a réémergé des eaux du réservoir de Mossoul en Irak à la suite d'une sécheresse. Sont ainsi apparus les vestiges vieux de 3400 ans d'une vaste ville avec un palais et plusieurs bâtiments qui pourraient être ceux de Kemune — l'antique Zakhiku —, un important centre de l'empire du Mittani (1550-1350 avant J.-C.). **B. A.**

830 millions d'années L'âge de micro-organismes piégés dans un minéral en Australie

GÉOLOGIE Une batterie d'analyses réalisée sur une halite (ou « sel gemme ») découverte en Australie a révélé la présence d'organismes piégés depuis près de 1 milliard d'années dans une microscopique poche de liquide incluse dans le minéral. Impossible encore de dire s'ils sont morts ou en hibernation. **H. J.**

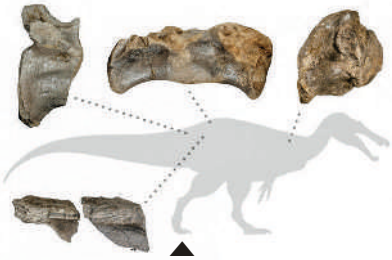
SOURCE : SARA SCHREDER-GOMES, UNIVERSITÉ DE VIRGINIE OCCIDENTALE, ÉTATS-UNIS.

Un spinosaure « so british »

PALÉONTOLOGIE Après le « héron de l'enfer » et le « chasseur des berges », voici le « spinosauridé de White Rock », troisième spécimen de spinosaure découvert sur l'île de Wight, au sud de l'Angleterre. Les fragments d'os suggèrent que ce carnivore du crétacé devait mesurer 10 m de long. Il y a 125 millions d'années, il évoluait dans un milieu lagunaire entouré de bancs de sable. **J. I.**

SOURCE : CHRIS BARKER, UNIVERSITÉ DE SOUTHAMPTON, ROYAUME-UNI.

CHRIS BARKER/DAN FOLKES



Fragments osseux du spinosauridé vieux de 125 millions d'années.

Premier génome séquencé à Pompéi

GÉNÉTIQUE Pour la première fois, des chercheurs ont réussi à séquencer l'intégralité d'un ADN appartenant aux restes d'un Pompéien. Préservé de l'oxygène atmosphérique qui dégrade l'ADN par les matériaux volcaniques de l'éruption du Vésuve en l'an 79, le génome révèle que l'homme âgé de 35 à 40 ans avait une ascendance originaire de Sardaigne et qu'il était atteint de tuberculose. **C. G.**

SOURCE : GABRIELE SCORRANO, UNIVERSITÉ DE ROME, ITALIE.

NOTIZIE DEGLI SCAVI DI ANTICHITÀ

Deux squelettes ont été découverts mais un seul a pu être étudié.

Le requin plus fort que le mégalodon

ÉVOLUTION **Géant des mers pouvant atteindre 15 m de long, le mégalodon aurait disparu il y a 3,6 millions d'années en raison de la concurrence que lui livrait le grand requin blanc sur sa niche écologique. Ce dernier, plus petit (4 à 6 m), mobile et agile, aurait pris l'ascendant sur son massif compétiteur qui chassait les mêmes proies, le privant de ressources en nourriture.** **O. L.**

SOURCE : JEREMY MCCORMACK, INSTITUT MAX-PLANCK, ALLEMAGNE.

Les derniers trésors de la nécropole de Saqqarah

ÉGYPTOLOGIE Plus de 250 sarcophages polychromes richement décorés, leurs momies intactes (Ve siècle avant J.-C.) ainsi que 150 statuettes en bois et en bronze ont été mis au jour sur le site de Saqqarah, près du Caire (Égypte). Parmi ces dernières, figuraient une rarissime statuette d'Imhotep, l'architecte bâtisseur de la pyramide à degrés de Djoser (Ancien Empire). **B. A.**

KHALED DESOUKI / AFP

Les 250 sarcophages retrouvés au sud du Caire, colorés et richement ornés, contenaient encore leurs momies.

AMBLIN ENTERTAINMENT/SKYDANCEMEDIA/UNIVERSAL PICTURES - NASA - INRAP - SCIENCESET AVENIR

L'actualité se poursuit sur Internet

www.sciencesetavenir.fr - www.larecherche.fr

SCIENCE-FICTION

Les monstres de « Jurassic World » à l'épreuve de l'anatomie comparée

Le blockbuster *Jurassic World, Le monde d'après*, qui fait la part belle aux dinosaures fictifs génétiquement trafiqués, est l'occasion pour Jean-Sébastien Steyer, paléontologue au CNRS, et Christopher Sevin, médiateur scientifique, d'interroger ces espèces fictives à la lumière des méthodes contemporaines. À lire sur le site de *La Recherche.* **https://bit.ly/3xw2LPv**

EXPLORATION

À la découverte d'un « trou de ciel »

192 mètres de profondeur, 306 m de long et 150 m de large, telles sont les mensurations du gouffre à l'intérieur duquel des scientifiques chinois en exploration ont pu documenter une forêt primaire pour la première fois. **sciav.fr/905tiankeng**

POUR TOUT SAVOIR DE LA SCIENCE

SI VOUS AVEZ...

2 minutes

L'étonnant chant d'un trou noir

Écoutez les ondes sonores d'un trou noir supermassif grâce à une « sonification », traduction de données astronomiques en sons, réalisée par la Nasa. **sciav.fr/905sonif**

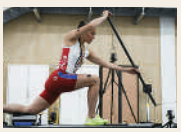
5 minutes

Un sanctuaire gallo-romain près de Rennes

Reportage sur le site d'un ensemble exceptionnel dédié au culte de populations celtiques juste après l'invasion romaine de la Gaule. **sciav.fr/905celtes**

10 minutes

Visite du laboratoire des athlètes



À Dijon, un laboratoire Inserm unique consacré au mouvement applique ses trouvailles à la rééducation et la performance des athlètes. Reportage vidéo. **sciav.fr/905mouv**

Vous êtes déjà 2 millions à nous suivre sur Facebook

Pourquoi y a-t-il quelque chose plutôt que rien ? p. 34

Pourquoi ne peut-on pas inverser le cours du temps ? p. 38

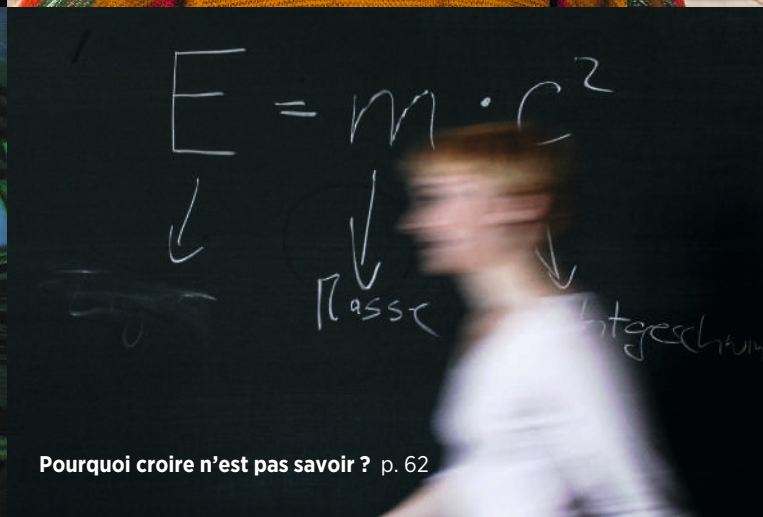
Pourquoi les civilisations finissent-elles par disparaître ? p. 42

Pourquoi ressentons-nous de l'amour ? p. 46

Pourquoi les extraterrestres ne nous répondent-ils pas ? p. 50

Pourquoi rions-nous ? p. 54

Pourquoi ne peut-on pas dépasser la vitesse de la lumière ? p. 58



Pourquoi croire n'est pas savoir ? p. 62

POURQUOI ?

25 grandes questions qui mettent la science au défi

C'est une obsession qui taraude l'humanité depuis des siècles : pourquoi sommes-nous là ? pourquoi sommes-nous vivants ? Les progrès fulgurants de la science permettent d'apporter des réponses à des interrogations fondamentales, même si de nombreuses zones d'ombre demeurent.

Dossier coordonné par
Arnaud Devillard

JF PODEVIN/ SPL/ SUCRÉ SALÉ - SHUTTERSTOCK - LUKAS BISCHOFF/ GETTY IMAGES - GETTY IMAGES - SEBASTIAN KAULITZKI/ SPL/ SUCRÉ SALÉ - GETTY IMAGES - GETTY IMAGES - AKG IMAGES

PHILIPPE HUNEMAN
PHILOSOPHE DES SCIENCES

« Certains “pourquoi” qui n’ont pas de réponse en auront dans le futur »

La question du « pourquoi » est-elle inhérente à la démarche scientifique ? Historiquement, les savants n’ont pas été d’accord entre eux sur cette interrogation. Surtout, la réponse évolue à mesure que les connaissances s’enrichissent.

Dans votre livre « Pourquoi ? Une question pour découvrir le monde », vous estimez que l’interrogation du pourquoi est cruciale en science, tout en précisant que cette position n’a pas toujours été évidente dans l’histoire des sciences…
Certains auteurs ont avancé que la science ne demande pas le pourquoi mais le comment. Ainsi, pour le physicien et épistémologue Pierre Duhem (1861-1916), la science n’explique pas, elle décrit. Donc elle ne cherche pas les causes. Pour le philosophe et mathématicien Bertrand Russell (1872-1970), la notion de causalité est même complètement archaïque. John von Neumann (1903-1957) disait également que la science n’explique pas, elle ne fait que des modèles. Ces modèles mathématiques ou informatiques ont des analogies avec le phénomène décrit, qui lui n’est pas mathématique. Dans cette approche positiviste, l’explication scientifique se passe de causes.

Ce courant persiste-t-il aujourd’hui ?
Cela renvoie au débat entre réalistes et antiréalistes en philosophie des sciences. Les premiers affirment que la science tend à dire la réalité ; les seconds qu’elle fait des descriptions qui permettent ensuite de faire des actions, comme poser une sonde sur une comète. Mais les positions spontanées des chercheurs sont entre ces extrêmes.

EDITIONS AUTREMENT

BIO EXPRESS

- **1970 :** Naissance à Boulogne (92).
- **2000 :** Thèse de doctorat en philosophie à l’université Paris-I sur le thème « Métaphysique et biologie. Kant et la constitution du concept d’organisme ».
- **2013 :** Directeur de recherche à l’Institut d’histoire et de philosophie des sciences et des techniques (CNRS/université Paris-I Panthéon-Sorbonne).
- **2020 :** Publication de *Pourquoi ? Une question pour découvrir le monde* (Flammarion/Autrement).

Vous écrivez que « poser la question “pourquoi ?” présuppose qu’il y a une réponse ». Mais est-ce toujours le cas ? Par exemple, Jacques Monod disait buter sur deux inconnaissables, l’émergence de la pensée dans le cerveau et l’origine de la vie…
La différence entre ce qui n’a pas de pourquoi et ce qui en a un va dépendre d’abord de choix métaphysiques implicites. Le scientifique s’inscrit aussi dans le cadre d’une tradition qu’il reçoit. Ensuite, la constitution d’un objet tel que la conscience ou l’origine de la vie en objet scientifique conduit à formuler des concepts qui changent le sens de l’objet initial par rapport à la compréhension commune, et à choisir entre ces concepts. Ainsi, dire que la vie c’est

ROMAIN GAILLARD/REA

Si chercher des causes à des effets est courant chez les animaux, se figurer les raisons pour lesquelles ils agissent semble le propre des humains.

essentiellement le métabolisme implique des choses différentes que de dire que la vie est ce qui est évolutif — c'est-à-dire qu'elle a nécessairement des propriétés de transmission et de variation. Et il n'y a donc aucun consensus sur ce qu'est la vie. Il devient alors difficile de poser la question de son origine ! C'est ce que j'appelle la « fragilité définitionnelle ».

Le pourquoi dépend donc du concept. Mais aussi de l'état des connaissances ?
Effectivement. L'exemple classique est celui d'Isaac Newton, qui dit ne pas pouvoir faire d'hypothèse sur l'origine de la gravitation, concluant que la matière est intrinsèquement douée de la propriété de gravitation. Dans le cadre einsteinien, en revanche, il devient possible de répondre à la question. Le mouvement des sciences fait que certaines questions qui étaient une limite au pourquoi à un moment donné ne le sont plus. Mais c'est alors toute la science qui a changé pour pouvoir donner une réponse. Par induction, on pourrait supposer que certains pourquoi qui n'ont pas de réponse aujourd'hui en auront une dans le futur. Mais certains concepts seront tellement redéfinis que la question ne sera en réalité plus la même.

Comment les travaux de Darwin ont-ils changé la façon de répondre aux pourquoi sur les questions du vivant ?
Charles Darwin a répondu à des questions qui auparavant n'étaient pas susceptibles de trouver une réponse sans une référence théologique. Quand on observe la question du « pourquoi » dans l'histoire des sciences, la figure de Dieu a joué un rôle très important. Or formuler une explication scientifique dans la science moderne, c'est aussi se demander comment penser des choses sans Dieu. Le naturaliste britannique a joué un grand rôle avec l'idée de sélection naturelle. En effet, il est difficile de parler des êtres vivants sans parler de fonction (la trompe de l'éléphant permet de boire) et d'adaptation (l'ours polaire est blanc pour se fondre dans son milieu). Ce sont des causes finales, comme si l'éléphant était construit pour boire de l'eau, comme si l'ours polaire avait eu l'intention de se cacher des prédateurs. Cela rappelle la théorie des animaux machines construites par Dieu de René Descartes, puisque pour lui (et les modernes) les causes n'existent pas en science, donc seul Dieu peut expliquer ce qui semble finalisé. Ainsi avant Charles Darwin, ce qui expliquait la fonction et l'adaptation, c'est que les animaux ont été créés. La théorie darwinienne est la première qui explique la fonction et l'adaptation sans référence à Dieu, mais aussi — c'est important — sans les nier comme ferait un matérialiste cartésien. Tous les énoncés fonctionnels peuvent se reformuler en termes de sélection naturelle, qui est une réalité physique.

Se demander pourquoi est-il le propre de l'humain ?
Repérer des consécutions de causes et d'effets n'est pas propre à l'humain. Depuis une vingtaine d'années, les sciences du comportement animal ne cessent de donner des exemples de capacités que les animaux non humains partagent avec les humains. Selon les auteurs, les mouches drosophiles ont de la culture, certains animaux peuvent compter, d'autres (ou même tous) ont une rationalité, etc. Ce qui est davantage de l'ordre de l'humain est de se représenter une raison : celle d'un phénomène, d'une croyance, d'une action. Les humains se représentent les raisons de leurs actions : « *je fais ça pour ça* ». Autant chercher des causes à des effets, prédire des états du monde est assez généralisé chez les animaux, autant se représenter les raisons pour lesquelles ils agissent a sans doute à voir avec le langage et les relations sociales humaines, dont je n'ai pas vu d'équivalent chez les animaux non humains. ■

Propos recueillis par
Mathieu Nowak @mathieunowak

PHYSIQUE

POURQUOI

y a-t-il quelque chose plutôt que rien ?

À la suite du Big Bang, il y a 13,7 milliards d'années, la matière a émergé et règne depuis dans l'Univers. Pourtant, les détails de ce processus sont encore mal compris.

L'Univers n'a pu être engendré ni ne pourra être détruit, estimait Aristote dans son *Traité du ciel*, acte de naissance de la cosmologie. Pour le philosophe grec du IVe siècle avant J.-C., l'Univers avait toujours existé. Il avait en partie tort, les cosmologistes modernes ayant fini par comprendre que l'Univers prenait bien naissance quelque part, à un moment donné. En rembobinant le film de cette histoire cosmique, long de 13,7 milliards d'années, ils constatèrent que les galaxies se rapprochaient les unes des autres jusqu'à se rejoindre en un point infinitésimal : une singularité gravitationnelle. En ce point, la densité, la température, mais aussi la courbure de l'espace-temps deviennent infinies. Les lois de la physique y apparaissent obsolètes.

Ce furtif instant précédant l'inflation (le moment où l'Univers se met à s'étendre considérablement), surnommé l'« ère de Planck », a beau ne s'étendre que jusqu'à 10^{-43} seconde seulement à compter de l'hypothétique « instant zéro », il pose bien des soucis aux théoriciens. Et pour cause : les quatre forces fondamentales — électromagnétisme, interaction faible, interaction forte et gravitation — y étaient encore unifiées et ne peuvent être décrites avec les lois de la relativité générale ou de la mécanique quantique telles qu'elles ont été établies. Elles requièrent, en somme, que nous ayons avancé vers une « théorie du tout ». Il est donc pour l'instant impossible d'entrevoir ce qu'il y avait avant et durant les quelques fractions de seconde qui ont suivi le Big Bang… et, par extension, de savoir si l'Univers est né de quelque chose ou de rien. Les hypothèses ne manquent pas. Parmi elles, celle d'une fluctuation quantique du vide, c'est-à-dire la possibilité que le vide lui-même, en tant que champ d'énergies subissant de petites variations, soit à l'origine de l'apparition de particules.

Aussi doit-on poser la question du commencement différemment : pourquoi l'Univers a-t-il fini par prendre la forme qu'on lui connaît, une immensité parsemée de gaz, de poussière et probablement de matière noire, façonnant à leur tour des galaxies gorgées d'étoiles ou encore des trous noirs ? Dit encore autrement : pourquoi y a-t-il de la matière, et non uniquement du vide ? *« Le vide est déjà quelque chose, ce n'est pas le néant,* précise Sandrine Emery, physicienne des particules et directrice de recherche au CEA-Irfu (Saclay). *Même si la matière n'existait pas, il y aurait de l'énergie. Mais la matière a émergé, et si le modèle standard propose un mécanisme pour l'enchaînement des événements cosmiques qui nous ont conduits à cela, il est bien loin d'expliquer l'ampleur de cet enchaînement.* »

Une autre physique à l'œuvre juste après le Big Bang

Lorsque l'Univers était âgé de 10^{-43} seconde, nous savons en effet qu'il ne formait encore qu'une soupe incroyablement dense et chaude dans laquelle les modèles de Big Bang nous indiquent qu'il s'y créait exactement autant de particules de matière que d'antimatière. Ces paires de particules et antiparticules s'annihilaient sans cesse mutuellement, pour ne laisser que de l'énergie pure. Or, nous sommes là… *« Il est clair qu'un processus a rompu la symétrie d'origine entre matière et antimatière, faisant triompher la première sur la seconde,* explique Sandrine Emery. *Nous ignorons l'origine de cette différence, mais nous nous doutons qu'une*

CEA

« Un processus a rompu la symétrie entre matière et antimatière, faisant triompher la première »

Sandrine Emery, physicienne des particules, directrice de recherche au CEA-Irfu (Saclay)

Les collisions de particules dans les grands accélérateurs éclairent le comportement de l'antimatière (vue d'artiste).

JF PODEVIN/SPL/SUCRÉ SALÉ

nouvelle physique inconnue du modèle standard a œuvré à très haute énergie. » L'antimatière, aux yeux des physiciens, n'a rien d'énigmatique. La preuve, nous savons en produire. Le Cern, plus grand complexe d'accélérateurs de particules au monde situé sous la frontière franco-suisse, à Genève, fabrique des antiparticules en abondance. Des résidus d'antimatière flottent aussi au-dessus de nos têtes : lorsque les molécules de la haute atmosphère de la Terre sont percutées par des rayons cosmiques, il s'en crée de manière très éphémère. « Images miroirs » des particules, les antiparticules ne se distinguent de leurs homologues de matière que par de subtiles différences, comme leur charge électrique ou une poignée de propriétés quantiques. À chaque particule élémentaire, son double d'antimatière. Ainsi, le positron, chargé positivement, est l'antiparticule de l'électron, chargé négativement. Jusque dans les années 1960, nous pensions que matière et antimatière étaient identiques. Mais la découverte en 1964 d'un comportement différent entre les deux a bousculé notre conception de la physique : une « violation de la symétrie CP » (pour charge-parité, ou symétrie « miroir ») était observée pour la première fois. De quoi rendre la question de la victoire de la matière sur sa sœur quasi-jumelle plus nébuleuse encore ! *« Le modèle standard de la physique des particules a beau bien intégrer cette violation de la symétrie CP dans les quarks et les neutrinos — elle est là, nous la voyons ! —, celle-ci est bien trop faible pour expliquer la quasi-absence de l'antimatière et la dominance extrême de la matière dans l'Univers,* explique Marie-Hélène Schune, directrice de recherche au Laboratoire de physique des deux infi-

nis Irène-Joliot-Curie (IJCLab, Orsay). *Quelque chose ne va pas, qui pousse à trouver des explications à ce déséquilibre ailleurs, au-delà du modèle standard. Pour cela, nous nous intéressons plus aux conditions où la symétrie CP est violée qu'à l'antimatière elle-même.* » Parmi les grandes expériences en cours, celle du LHCb au Cern, où est étudié un type de particule appelé « quark beauty » ou quark b. Marie-Hélène Schune y a notamment pour mission de rechercher de nouvelles sources de violations de CP dans le comportement du quark b et de son antiquark b. Ces sources pourraient trahir un mécanisme qui nous aurait encore échappé. Des violations de symétrie n'ont pour l'instant été observées que chez les quarks strange, bottom et charm (s, b et c), et leur antiquark : *« En 1964 pour les hadrons contenant un quark s, en 2001 pour ceux contenant un quark b comme celui étudié au LHCb, et seulement en mars 2019 pour les hadrons présentant un quark c,* précise la physicienne. *Nous continuons à scruter le quark b parce que nous considérons qu'une éventuelle "nouvelle physique" se coupplerait plus aux particules les plus lourdes, comme le quark b.* »

À la recherche d'une nouvelle physique qui permettrait d'expliquer pourquoi nous sommes là

Autre piste : celle des neutrinos, ces particules élémentaires qui n'interagissent que très peu avec la matière et qui ont certainement joué un rôle dans les tout premiers instants de l'Univers. En 2020, après l'examen de dix ans de données récoltées dans le cadre de l'expérience T2K menée au Japon, les chercheurs ont pointé une différence de comportement entre neutrino et antineutrino muonique, dans leurs oscillations vers une autre « saveur ». *« Ces oscillations sont la preuve que les neutrinos ont une masse, et ce n'est déjà pas prévu par le modèle standard,* assure Sandrine Emery. *Si cette asymétrie entre le comportement des neutrinos et de leur double était confirmée, elle pourrait éclairer ce que l'on ne parvient pas à expliquer avec les quarks.* » Il faudra néanmoins encore plusieurs années et une nouvelle génération d'expériences. Deux sont en construction au Japon (Hyper-Kamiokande) et aux États-Unis (Dune), et le LHC entame cet été son « Run 3 ». L'enjeu : esquisser les contours d'une nouvelle physique, permettant d'expliquer pourquoi nous sommes là. ■

Marine Benoit @marin_eben

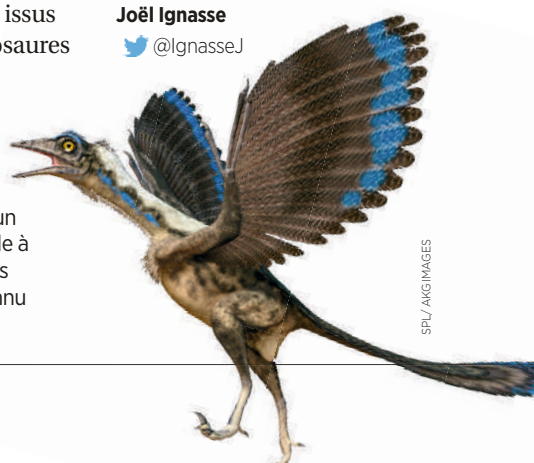
ÉVOLUTION

POURQUOI

dit-on que les oiseaux sont des dinosaures ?

La place des oiseaux dans le règne animal a longtemps été sujette à controverse. Mais dès le XIXe siècle, des données ont pointé vers les dinosaures. À commencer par la découverte de l'archéoptéryx vieux de 150 millions d'années, en 1861, quelques mois à peine après la parution de l'ouvrage de Charles Darwin *L'Origine des espèces*. Ses caractéristiques anatomiques, mêlant celles des dinosaures et des oiseaux, ont conduit Thomas Huxley (1825-1895), un célèbre paléontologue britannique, à établir le premier une relation entre ces deux groupes. D'autres fossiles ont contribué à conforter ce lien, notamment des dizaines de petits dinosaures ailés et emplumés découverts à partir des années 1990 en Chine, qui n'avaient pas la capacité de voler. Leurs plumes étaient sans doute liées à des fonctions d'apparat et de régulation thermique. Dans la même région, ont également été retrouvés des oiseaux primitifs qui, eux, pouvaient décoller. Or, la ressemblance entre les uns et les autres est frappante. Au-delà des correspondances anatomiques, des analyses chimiques portant sur des fragments de protéines récupérés sur un fossile de *T. rex* ont montré une proximité de structure avec celles du… poulet ! Aujourd'hui, les paléontologues affirment que les oiseaux sont issus d'un groupe de dinosaures théropodes, les *Maniraptora*. Ils distinguent ainsi les dinosaures non aviens — qui ont disparu sans laisser de descendance, il y a 66 millions d'années —, des dinosaures aviens dont les *Aves*, les oiseaux modernes, sont les derniers descendants. ■

Joël Ignasse @IgnasseJ



L'archéoptéryx, un dinosaure théropode à plumes, est le plus lointain ancêtre connu des oiseaux.

SPL/ AKG IMAGES

PHYSIOLOGIE

POURQUOI

existe-t-il des peaux de différentes couleurs ?

L'histoire des couleurs de peau est celle d'une longue traversée. À la fois dans le temps et dans l'espace. Quand les premiers humains commencèrent à arpenter la surface de leur planète à la recherche d'eau et de nourriture voilà 100 000 ans, leurs peaux se sont mises à noircir près de l'équateur à l'approche des terres les plus chaudes. Un moyen qu'avait trouvé l'organisme de se prémunir des violents rayonnements solaires en secrétant un pigment protecteur, la mélanine. Cependant, une fois parvenus plus au nord, dans des zones plus froides, ces explorateurs se retrouvèrent avec une peau trop sombre. En effet, si trop de soleil est nuisible à l'organisme, notamment en favorisant les tumeurs, un peu de rayons UV reste essentiel. Par leur action sur l'épiderme, ils permettent de synthétiser de la vitamine D qui favorise l'absorption du calcium et la minéralisation osseuse. Les migrants des zones froides ont donc vu leur peau s'éclaircir pour capter un peu de ce soleil modéré et renforcer leurs os. Puis, les aventuriers ont poursuivi leur périple jusqu'au pôle Nord, pour former les populations natives des futurs Alaska et Canada. Là, ils ont bénéficié d'encore moins d'UV. Mais en consommant beaucoup de fruits de mer et de poissons, ils ont apporté à leurs organismes la vitamine D nécessaire. Leurs peaux ne se sont donc pas éclaircies d'autant pour absorber les maigres rayons solaires. Au contraire. Elles ont foncé, mais cette fois pour se protéger des très forts rayonnements reflétés par la neige et la glace d'été. ■

Hervé Ratel

GETTY IMAGES

ALGÈBRE

POURQUOI

a-t-on inventé le zéro ?

« *Une fortune moins zéro est une fortune* », c'est un des vers par lesquels le mathématicien indien Brahmagupta a défini pour la première fois, au VII^e^ siècle, le zéro tel que nous le connaissons. Nombre remarquable, multiple de tous les autres et élément neutre, le zéro est arrivé tardivement comme outil de calcul. Mais il a émergé très tôt au sein de civilisations avec différents usages. Les Babyloniens, autour du III^e^ siècle, l'ont utilisé comme « garde place » : dans un nombre comme 406, le zéro (qui n'avait pas le même symbole) indique l'absence de dizaines. Ce zéro de position, ignoré des Romains, a aussi été adopté par les Grecs. Les Mayas, au IV^e^ siècle, ont introduit le zéro ordinal qui indique l'ordre, le rang « zéroième » pour leur calendrier. Mais le zéro en tant que nombre et chiffre est bien originaire d'Inde où, nommé *sunya*, il est employé comme cardinal figurant le vide et utilisé en arithmétique. Il a ensuite été diffusé dans le monde arabe sous le terme de *ifr* (qui a donné les mots chiffre et zéro en français), puis en Occident autour de l'an 1000. Il a ouvert la voie à des opérations comme la soustraction et à des notions comme le vide et les quantités nulles. C'est aussi une porte vers l'infini : la division par 0 donne par convention un résultat qui tend vers l'insondable. Autant de notions redoutables qui expliquent sans doute pourquoi ce nombre a mis tant de temps à s'imposer en Occident. ■

J. I. @IgnasseJ

SHUTTERSTOCK

PHYSIQUE

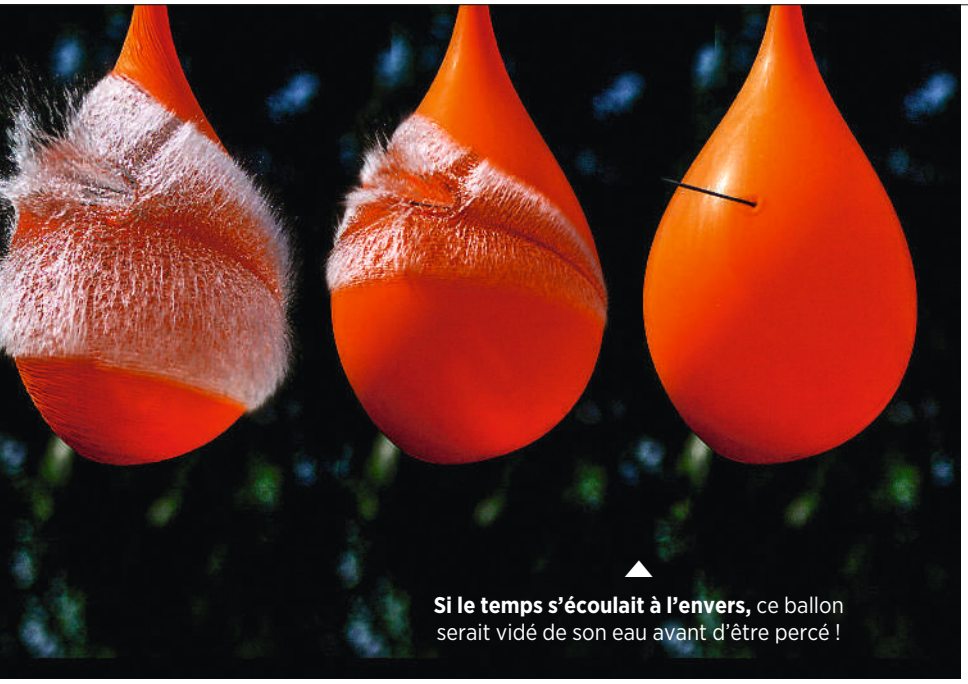
POURQUOI

ne peut-on pas inverser le cours du temps ?

Plusieurs expériences de pensée prouvent que l'inversion du temps conduirait à une impossibilité physique. Au cœur de cette démonstration, la notion fondamentale d'entropie…

« *Ô temps, suspends ton vol ! et vous, heures propices, suspendez votre cours ! Laissez-nous savourer les rapides délices des plus beaux de nos jours !* » suppliait Alphonse de Lamartine dans le poème *Le Lac*. Hélas, nous savons que le temps n'interrompt jamais sa course. Pas plus qu'il ne fait machine arrière, malgré les efforts d'imagination de bien des auteurs de science-fiction, à commencer par Herbert George Wells (1866-1946) et son roman *La Machine à explorer le temps* (1895). Pourtant, en y regardant de plus près, certaines lois de la physique ne se montrent pas si intransigeantes avec la flèche du temps… Prenons deux boules de billard lancées l'une contre l'autre. Elles se heurtent, puis repartent chacune de leur côté. Passons le film à l'envers, comme si justement le cours du temps s'inversait. Les deux boules avancent l'une vers l'autre, se percutent, repartent en arrière. Un observateur visionnant les deux films serait incapable de dire lequel se déroule dans le « bon sens » du temps… Car aucune loi physique n'est violée, rien d'étrange n'apparaît.

« Cela s'explique par le fait que les lois de la mécanique newtonienne, qui régissent le mouvement des deux boules, sont réversibles, note Édouard Kierlik, directeur de l'UFR de physique de Sorbonne Université. *Dans les équations, vous pouvez changer "t" en "-t" sans problème. Cela se complique rapidement*



Si le temps s'écoulait à l'envers, ce ballon serait vidé de son eau avant d'être percé !

si l'on multiplie le nombre de boules. Imaginons un billard à 10^{23} boules : c'est le nombre d'atomes présents dans un litre d'air. Vous les observez se heurter les unes aux autres, puis vous inversez le sens d'écoulement du temps. Cette fois, vous ne retrouverez jamais l'état initial. Pourquoi ? Parce que le nombre de collisions est trop grand, les configurations trop nombreuses. Une infime différence de vitesse entre deux boules provoquera des trajectoires différentes. Et de fil en aiguille, les boules rebroussant chemin se trouveront bien loin de leur emplacement initial. » Le film n'est plus réversible. Comme si le temps, tout à coup, avait acquis une orientation. Que s'est-il passé ? « *En passant de deux boules à un très grand nombre, nous avons quitté la mécanique pour la thermodynamique. Et les lois de la thermodynamique, elles, ne sont pas réversibles.* »

L'exemple imparable du glaçon dans un verre d'eau

Pour comprendre, prenons un autre exemple : un glaçon plongé dans un verre d'eau. Comme tout le monde a pu l'expérimenter, la chaleur se déplace toujours du corps chaud vers le corps froid. L'eau va céder de l'énergie au glaçon, le faisant fondre tandis qu'elle se refroidit. Que se passerait-il si le film se déroulait à l'envers ? La chaleur se déplacerait alors du corps froid (le glaçon) vers le corps chaud (l'eau). Autrement dit, le glaçon se reconstituerait tout en réchauffant le liquide. Absurde ! Contrairement à l'exemple des deux boules de billard, l'inversion du temps conduirait bel et bien à une impossibilité physique.

Derrière ces deux cas, se cache une même notion fondamentale de la thermodynamique : l'entropie, à l'origine de la flèche du temps. Cette grandeur correspond à une mesure du désordre. Celui-ci s'évalue par la quantité d'informations nécessaires pour décrire un système entièrement. Par exemple, il est relativement facile de dépeindre un vase à quelqu'un qui ne l'a jamais vu. En revanche, si le vase est brisé, sa description sera bien plus délicate. Il faudra inventorier chaque fragment : sa forme, sa taille, sa position. Conclusion : le vase brisé a une plus grande entropie que le vase intact. Or, « *le second principe de la thermodynamique dit que l'entropie d'un système isolé ne fait que croître,* poursuit Édouard Kierlik. *Voilà pourquoi le vase peut évoluer vers un état de plus haute entropie sous l'effet d'une action mécanique. En revanche, l'inverse, à savoir les morceaux du vase s'assemblant pour former le vase intact, est impossible car cela conduirait à diminuer son entropie.* » Et si nous le recollons ? « *Son entropie diminue en effet mais dans ce cas il y a une intervention extérieure complexe. Le second principe ne vaut que si le système est isolé, c'est-à-dire qu'il ne reçoit ni travail ni chaleur. De fait, il est toujours possible d'abaisser localement l'entropie. Seulement, les opérations nécessaires à la réparation du vase correspondront à une augmentation de l'entropie dans le système extérieur au vase. Et finalement, l'entropie globale augmentera. Car l'entropie de l'Univers ne fait que croître depuis le Big Bang et rien ne permet de déroger à cette règle.* »

DÉFINITION

Entropie
Cette grandeur correspond à une mesure du désordre, qui s'évalue par la quantité d'informations nécessaires pour décrire un système entièrement.

Essayer de revenir directement en un point du passé

Il est donc bel et bien impossible d'inverser le cours du temps, même pour réparer une bêtise… Cette augmentation spontanée de l'entropie est aussi à la manœuvre pour le glaçon dans le verre : l'entropie du système « glaçon + eau liquide » est inférieure (car les molécules d'eau dans la glace sont bien ordonnées) à celle du glaçon fondu dans l'eau, où toutes les molécules gigotent de façon erratique à l'état liquide.

Mais si l'on ne peut pas simplement faire marche arrière, ne pourrait-on pas revenir directement en un point du passé, comme dans la série *Docteur Who* où les protagonistes voyagent dans le temps à bord d'un vaisseau spatial déguisé en cabine téléphonique ? Cette idée n'est pas si ridicule (cabine téléphonique mise à part), si

La relativité d'Einstein permet d'envisager de voyager vers le passé en courbant suffisamment l'espace-temps

l'on considère la relativité générale d'Albert Einstein (1915). Selon cette théorie, l'espace-temps qui constitue l'Univers est sculpté par la matière et l'énergie qu'il contient. Par exemple, la Terre « creuse » l'espace-temps autour d'elle. Tout corps passant à proximité sera attiré par elle mais pas sous l'effet d'une force agissant à distance comme le décrivait Isaac Newton. Selon Albert Einstein, il tombe dans le puits gravitationnel creusé par la Terre autour d'elle. L'idée pour voyager vers le passé consisterait à courber suffisamment l'espace-temps pour créer une boucle temporelle équivalente à une boucle spatiale. Explication : sur Terre, un voyageur marchant toujours tout droit finira par revenir à son point de départ : la Terre étant ronde, il décrit forcément une boucle. De la même manière, si l'on parvenait à fabriquer une boucle temporelle, un individu pris dans celle-ci se retrouverait un beau jour dans son passé, et repartirait pour un tour, comme dans le film *Un Jour sans fin* (1993) où Bill Murray revit sans cesse la même journée et utilise cette situation pour tenter de séduire Andie MacDowell de mille façons.

Mais comment courber l'espace ainsi ? Le mathématicien Kurt Gödel, en 1949, a démontré que de telles boucles temporelles pourraient exister dans un univers en rotation globale sur lui-même. Ce qui *a priori* n'est pas le cas du nôtre. Autre espoir : les trous noirs. En 1963, le mathématicien néo-zélandais Roy Kerr a calculé qu'un trou noir en rotation rapide pouvait générer des boucles temporelles. Or, nous savons aujourd'hui que la plupart des trous noirs sont en rotation. L'ennui, bien sûr, c'est que pour bénéficier de ce retour en arrière, il faudrait d'abord s'approcher du trou noir sans disparaître à l'intérieur. C'est clairement plus risqué que de rentrer dans une cabine téléphonique ! Enfin, contrairement à *Un Jour sans fin*, le voyageur temporel revivrait exactement les mêmes événements, à l'infini. Loin de réparer une bêtise, il la reproduirait pour l'éternité. Voilà qui ôte beaucoup d'intérêt au voyage dans le temps… ■

Fabrice Nicot @fnicot07

DERMATOLOGIE

POURQUOI se gratte-t-on ?

SPL/SUCRÉ SALÉ

La réponse est évidente : parce que la peau nous démange ! Piqûre d'insecte, de végétaux, allergie, maladie de peau… Les causes de démangeaison — le prurit pour les médecins — sont multiples. Mais si, pendant longtemps, seule l'histamine, un facteur irritant libéré à la surface de la peau, a été incriminée dans le processus, d'autres mécanismes ont récemment été mis en lumière. En 2014, des chercheurs américains du Centre d'étude de la démangeaison de l'université de Washington (États-Unis) ont démontré l'existence d'un cercle vicieux entre prurit et douleur. Publié dans la revue *Neuron*, leur travail a, pour la première fois, mis en évidence que l'action de se gratter provoquait au niveau cérébral une libération de sérotonine, un neuromédiateur jusqu'alors connu dans le contrôle de la douleur. Or, en activant certains neurones par certains récepteurs, la sérotonine intensifie la démangeaison. Celle-ci, lorsque la personne se gratte, est remplacée par une très légère douleur, presque agréable. D'où la poursuite du geste.

En 2016, des chercheurs de l'université Duke (États-Unis) sont allés plus loin. Ils ont identifié chez la souris une protéine responsable de l'envie de se gratter. Elle possède la particularité d'activer une autre protéine elle aussi impliquée dans le prurit. Ces chercheurs ont même réussi à mettre au point une pommade bloquant les deux protéines. Elle s'avère efficace chez la souris. Reste à attendre les résultats des tests chez l'humain. ■

Sylvie Riou-Millot

L'ÉNIGME DE L'EXPERT

Pourquoi sommes-nous une seule espèce aujourd'hui ?

« Sapiens » est le survivant triomphant d'une époque où cohabitaient plusieurs « Homo ». Cette singularité questionne le paléoanthropologue Jean-Jacques Hublin.

« C'est l'événement le plus spectaculaire de l'évolution humaine : aux alentours de – 50 000 ans, notre espèce, *Homo sapiens*, a entamé une expansion planétaire qui s'est accompagnée de la disparition de toutes les autres : Neandertal, Denisova, Flores et *H. luzonensis*. Est-ce à dire que partout où l'on passe, les autres trépassent, même si nous absorbons un peu de leur ADN ? Il ne suffit pas de dire que nous étions plus intelligents et dotés de techniques plus élaborées. La réalité est sans doute plus complexe. Ce n'était pas la première fois que notre espèce sortait d'Afrique, mais les précédentes vagues n'ont pas connu cet inexorable déploiement et ce succès. Cette fois, elle sort complètement de sa niche géographique, écologique et climatique : les Africains arrivés à Bacho Kiro, en Bulgarie il y a 43 000 ans se sont adaptés à un environnement comparable à celui de la Norvège actuelle. Le remplacement ne s'est pas fait en un jour mais a été ineroxable. Imaginez une gazinière avec plusieurs casseroles de lait qui bouillonnent : la première qui déborde éteint le feu sous les autres ! Les espèces invasives réduisent la biodiversité locale et la remplacent, sans que l'on sache vraiment pourquoi : il y a quelques petites différences et *in fine* un meilleur succès reproductif. D'autant qu'à l'époque, les populations étaient peu nombreuses et se comptaient en milliers, pas en millions d'individus.

Les nouveaux venus ont aussi exploité leur environnement plus efficacement. C'est un comportement marquant de notre espèce : nous pressons un peu plus le citron. La complexité sociale a aussi certainement joué un rôle. Un trait de l'humain moderne est sa capacité à créer des réseaux toujours plus étendus, au-delà de la famille et des voisins. L'entraide s'est certainement nouée autour d'alliances matrimoniales, dont l'intérêt n'est pas seulement de produire des enfants. Si je pouvais remonter le temps, j'aimerais savoir quels liens Neandertal avait avec ses beaux-frères, par rapport à ceux qu'entretenait *H. sapiens*. Chez ces immigrants africains, les parures marquaient le statut des individus mais aussi l'identité des groupes. Surtout, j'imagine que nos ancêtres partageaient des croyances communes, comme en témoigne l'art extraordinaire qui s'exprime après le remplacement : peintures et statuettes d'animaux et de femmes, et surtout d'êtres qui n'existent pas." ■

Propos recueillis par
Rachel Mulot @RachelFleaux

Directeur du département Évolution de l'homme de l'Institut Max-Planck d'anthropologie évolutionnaire, à Leipzig, en Allemagne, Jean-Jacques Hublin enseigne aussi au Collège de France.

DIDIER GOUPY / SIGNATURES

« Un trait de l'humain moderne est sa capacité à créer des réseaux toujours plus étendus, au-delà de la famille et des voisins »

HISTOIRE

POURQUOI

les civilisations finissent-elles par disparaître ?

La chute de l'Empire romain ou la disparition des Mayas sont-elles un fait avéré ou un fantasme ? Le géohistorien Christian Grataloup fait le point sur ces problèmes d'interprétation.

Disparaissent-elles vraiment ? L'effondrement des civilisations est *« une réalité beaucoup plus complexe, tout autant qu'un fantasme »*, répond le géohistorien Christian Grataloup, professeur émérite à l'université Paris Cité. En 2005, *Effondrement*, l'ouvrage de Jared Diamond, un biologiste évolutionniste devenu enseignant de géographie à l'université de Californie à Los Angeles (Ucla), aux États-Unis, connaissait un retentissement médiatique international. S'interrogeant sur les sociétés contemporaines et leur capacité à survivre dans le futur, compte tenu de la pression démographique et des problèmes *« climatique, écologique et de renouvellement des ressources »* auxquels devraient faire face la planète et ses 7 milliards habitants, l'auteur américain s'était intéressé à la façon dont certaines sociétés avaient disparu dans le passé.

Et dans ce tour du monde civilisationnel, il avait défini cinq facteurs entrant en jeu pour expliquer ces disparitions : *« Des dommages environnementaux, un changement climatique, des voisins hostiles, des rapports de dépendance avec des partenaires commerciaux, et les réponses apportées par une société, selon ses valeurs propres, à ces problèmes. »*

En analysant le cas de petites sociétés isolées géographiquement, parmi lesquelles figuraient — entre autres — les habitants de l'île de Pâques (Rapa Nui), en Océanie, les Anasazis dans le sud-ouest des États-Unis, ou encore les colonies vikings du Groenland, il avait appliqué avec systématisme cette grille de lecture pour exposer les différents motifs qui selon lui avaient conduit à leur extinction. Mais s'agissait-il de transformation, d'adaptation ou d'un réel effondrement ? D'autre part, ce qui pouvait être théorisé sur ces petites sociétés sélectionnées était-il applicable à des civilisations plus importantes ?

« Dans un premier temps, la réaction que j'aurais serait de dire que l'on ne peut pas répondre à cette question sur "l'effondrement" des civilisations, parce que celles-ci ne sont finalement jamais mortelles : elles se transforment en permanence, explique Christian Grataloup. *C'est une construction, une mise en scène rétrospective qui fait que l'on a, en particulier en Occident, une vision où une société disparaît après un choc. »* L'histoire naturelle, avec la découverte des grandes extinctions, a légitimé d'une certaine façon cette approche cyclique de l'histoire. Une idée avant tout organiciste qui consiste à penser qu'une civilisation — et également une région du monde — serait une période temporelle avec un début, une fin et au milieu, un apogée. *« Si l'on anthropomorphise cet exemple et que l'on en fait un être vivant, cela devient : naissance, épanouissement adulte et sénescence finale »*, analyse Christian Grataloup. Pour les Européens, l'important paradigme de cette vision cyclique a été la chute de l'Empire romain. Depuis le XVIIIe siècle, et sans doute déjà un peu

S. SORIANO/FIGAROPHOTO.COM

« Nous sommes face à des modifications géopolitiques, qu'il ne faut pas confondre avec la chute d'une civilisation »

Christian Grataloup, géohistorien, professeur émérite à l'université Paris Cité

La cité du Machu Picchu (Pérou) est un vestige de la civilisation inca, disparue après l'arrivée des Espagnols sur le continent américain.

LUKAS BISCHOFF/ GETTY IMAGES

avant, il était dit que l'Empire romain, un des plus grands modèles de civilisation, avait disparu parce qu'il avait été soumis au choc des invasions barbares. Un schéma développé par l'historien américain Paul Kennedy dans un livre très en vogue aux États-Unis en 1987 — *Naissance et déclin des grandes puissances* —, qui s'appuyait sur les théories plus anciennes d'Edward Gibbon (*Histoire de la décadence et de la chute de l'Empire romain*, 1776).

« Or dans cet exemple concret — et cela sera le cas pour tous les autres —, il y a en réalité une constante transformation que dissimulent les découpages artificiels qui ont été faits, comme la coupure Antiquité/Moyen Âge pour la chute de l'Empire romain d'Occident, la notion de périodisation historienne, poursuit le spécialiste. *Le fait est que plus on étudie ce qui se passe au Bas-Empire et au haut Moyen Âge, et la transition imperceptible entre l'un et l'autre, plus on assiste à des recompositions géopolitiques assez classiques, qui font que l'Empire romain s'est progressivement effacé devant d'autres structures géopolitiques. En fait, il n'y a pas eu de chute de la civilisation romaine* », résume Christian Grataloup.

Des cas indubitables d'effondrement

Le succès du livre de Paul Kennedy, où il est question de l'Angleterre du XIXe siècle, de la France napoléonienne, du règne d'Alexandre, de l'Empire romain et bien d'autres encore, développe l'idée qu'au départ, une société bénéficie d'une position avantageuse lui faisant accumuler des richesses. Puis, devenue puissante presque à son corps défendant, à l'exemple des États-Unis de 1941 ou de la Rome antique, elle est obligée d'intervenir chez ses voisins pour maintenir la paix, la financer, à l'instar du plan Marshall en Europe après la Seconde Guerre mondiale, avant de se retrouver ruinée car tout cela coûte très cher. C'est le cas de l'Angleterre de 1919 : n'en ayant plus les moyens, elle n'a plus été en mesure de maintenir sa grandeur impériale passée. *« Là encore, nous sommes face à des modifications strictement géopolitiques, qu'il ne faut pas confondre avec la chute d'une civilisation,* prévient Christian Grataloup. *Une civilisation en tant que société, mode de vie, culture ne disparaît pas quand la société en question n'a plus de position géopolitique première, elle s'est juste transformée. Les Pays-Bas ont été une puissance dominante au XVIIe siècle qui s'est retrouvée au XIXe siècle déjà très effacée. Cela n'a pas fait pour autant de la société néerlandaise de 1850 ou de 1900 une société disparue. De même, pour les Pascuans, les habitants de l'île de Pâques, il n'y a pas eu d'effondrement. Ils ont épuisé leurs ressources forestières et ont été obligés de*

modifier leur mode de vie et de s'adapter », estime Christian Grataloup.
La supposée chute des Mayas est, elle aussi, liée en partie à une certaine mise en perspective d'informations archéologiques et à leur lecture. Une rupture entre une première période allant du Ier au IXe siècle de notre ère (appelée période classique) et une deuxième période, dite Toltéco-Maya, allant du Xe siècle à la conquête espagnole (XVIe siècle), a laissé supposer, par l'absence de traces archéologiques, un effondrement de la société maya classique. Or aujourd'hui, les mécanismes du phénomène El Niño étant mieux compris, les spécialistes considèrent qu'il y a probablement eu une crise climatique à l'origine de cette situation. *« Ce moment de rupture ne signifie pas qu'entre-temps, les populations mayas ont disparu »*, explique Christian Grataloup. Il y a au contraire eu une incontestable continuité culturelle entre les deux périodes, avec un moment de difficulté qui a nécessité une réadaptation aux nouvelles conditions climatiques et des déplacements de populations vers d'autres installations. Pour preuve, il existe aujourd'hui près de 6 millions de locuteurs mayas. Ils n'ont donc pas disparu !
En revanche, des cas indubitables d'effondrement de civilisations ont bien eu lieu avec l'arrivée des colons européens en Amérique. *« Là, on peut véritablement parler d'effondrement »*, affirme Christian Grataloup. Il n'y a pas eu de transformation, mais une « extinction » littérale. La disparition des civilisations aztèque, au Mexique, ou inca, au Pérou, a été clairement causée par l'arrivée des Espagnols et l'apport de maladies auxquelles ces populations n'avaient jamais été confrontées. On pourra en dire autant de nombre de sociétés africaines broyées par la pression coloniale, vectrice de pandémies autant que d'un anéantissement économique, avec le phénomène des traites (esclavage). *« Dans ces cas-là, sans aucun doute, on peut parler de civilisations disparues. »* ■

Bernadette Arnaud @NarudaaArnaud

NAFTALI HILGER/LAIF-REA

L'île de Pâques (Rapa Nui) se serait dépeuplée en raison de l'épuisement de ses ressources forestières.

PHYSIOLOGIE

POURQUOI

les humains n'ont-ils pas de queue ?

Plus exactement, ce sont les hominoïdes (les humains et les grands singes) qui se distinguent par la perte de leur queue. Elle se serait produite il y a environ 25 millions d'années, mais il en reste une trace : quelques vertèbres formant le coccyx. *« Ce dernier est bien un vestige de la queue,* confirme Daniel Lieberman, chercheur au département de biologie évolutive humaine à Harvard (États-Unis). *Une hypothèse expliquant cette disparition est la conséquence du fait que les hominoïdes se suspendent verticalement aux arbres. Car les muscles qui bougent la queue soutiennent également le plancher pelvien. Remuer la queue tout en étant suspendu à un arbre pourrait conduire à une descente d'organes ! »*
Une étude menée par l'université de New York, diffusée en 2021 en *preprint* et dont les résultats ont déjà été largement salués, apporte, elle, une explication moléculaire. Elle se trouve au niveau d'un gène nommé TBXT. *« Lorsque ce gène a été transcrit d'ADN en ARNm, deux fragments — les séquences AluY et AluSx1 — interagissent, conduisant à la formation d'une protéine plus petite, qui elle-même perturbe le développement de la queue »*, explique le chercheur Bo Xia, coauteur de l'étude. De prochaines recherches devraient permettre de mieux comprendre le mécanisme en jeu. ■ **Anne-Sophie Tassart**

@TassartAS

Le coccyx est un vestige de notre ancienne queue.

SPL/SUCRE SALÉ

PSYCHOLOGIE

POURQUOI

a-t-on besoin d'animaux de compagnie ?

En plus d'apporter un réconfort psychologique et une meilleure interaction sociale, la présence de compagnons animaux favoriserait une bonne santé physique. Explications.

« *Dans une société moderne occidentale comme la nôtre, très individualiste, la compagnie est primordiale*, affirme d'emblée Sarah Jeannin, psychologue clinicienne et éthologue. *Et les animaux nous apportent le réconfort que nous avons de plus en plus de mal à trouver auprès de nos congénères.* » Un effet amplifié par la pandémie de Covid-19. Une étude menée par les universités d'York et de Lincoln (Royaume-Uni) sur 6000 Britanniques a révélé en 2020 que partager son foyer avec un animal de compagnie durant un confinement apportait un important soutien psychologique. Un an plus tard, l'université de Toledo (États-Unis) partageait la première preuve empirique, par autoévaluation des participants, que les animaux de soutien émotionnel peuvent fournir des bénéfices quantifiables aux personnes atteintes de troubles mentaux, notamment en limitant les phases anxieuses. « *L'animal favorise la confiance car il ne juge pas, ne s'exprime pas verbalement et de fait, libère la parole* », explique Sarah Jeannin. Le labrador nommé Lol, premier chien d'assistance judiciaire de France, en est une preuve : depuis 2019, par sa douceur et sa stabilité, il aide les victimes et les témoins de traumatismes à se confier aux enquêteurs. Par ailleurs, un sondage conduit en 2019 par l'université du Michigan (États-Unis) sur des personnes âgées de 50 à 80 ans souligne que 65 % des propriétaires d'animaux de compagnie pensent qu'en avoir un permet de se connecter aux autres. « *Pour les personnes âgées vivant seules par exemple, l'animal représente un soutien social important et leur donne des responsabilités, ce qui se révèle stimulant. Sa présence pousse par ailleurs à sortir davantage et à interagir avec d'autres personnes* », analyse Sarah Jeannin.

Un risque moindre de maladies cardio-vasculaires

Outre le réconfort psychologique et l'ancrage dans le tissu social, les animaux de compagnie favorisent bien souvent une bonne santé physique. Ainsi, le sondage de l'université du Michigan rapportait que 78 % des propriétaires de chien interrogés affirmaient que leur animal leur permettait de rester actifs physiquement. Et le phénomène est loin d'être anecdotique : une étude de grande ampleur (3,4 millions de personnes) indiquait en 2017 que les personnes seules qui possèdent un chien risquent moins de développer une maladie cardio-vasculaire que les personnes totalement seules. Cela s'expliquerait par la motivation à pratiquer une activité sportive. Un effet là encore mis en évidence lors des confinements. ■

A.-S. T.

@TassartAS

GETTY IMAGES

NEUROSCIENCES

POURQUOI

ressentons-nous de l'amour ?

Célébré dans la culture populaire, recherché par beaucoup, l'amour romantique est un ressenti universel. Pourtant, son origine est une question d'une complexité infinie, seulement partiellement élucidée. De la neurobiologie à la sociologie, en passant par l'anthropologie, visite guidée d'une de nos plus belles émotions.

Le cœur rate un battement, les intestins twistent, la respiration sonne le tocsin. Si l'amour se ressent dans tout le corps, c'est parce que son orchestre joue dans le cerveau. Là, les trois phases de l'amour romantique que forment le désir, la passion puis, après deux ou trois ans, l'attachement, mettent en jeu à peu près les mêmes composés chimiques. Appelés neurotransmetteurs, ils sont produits par les neurones auxquels ils servent de messagers, comme l'adrénaline (stress), la noradrénaline (vigilance) ou la dopamine (motivation et récompense). Au cœur du cerveau, dans une petite zone appelée hypothalamus, sont également produites l'ocytocine et la vasopressine, hormones et neurotransmetteurs de l'attachement. Lors du désir sexuel, dont l'importance décroît au cours des trois phases de l'amour, la dopamine permettra de surmonter le stress de l'intimité nouvelle, tandis que la noradrénaline augmentera la réceptivité aux signaux envoyés par la personne désirée. Ce sont également la dopamine et les structures cérébrales associées — comme le noyau accumbens activé par la prise de cocaïne — qui caractérisent la phase de la passion. Nous sommes alors particulièrement motivés pour être proches de la personne aimée.

Enfin, l'attachement croît pendant l'amour passion et culmine après quelques années, dans la phase du même nom. L'ocytocine y joue un rôle central, mais attention : souvent décrite comme l'hormone de l'amour et de la bienveillance, elle peut aussi en fonction du contexte entraîner la jalousie, la possessivité, voire l'agressivité, pointe la professeure émérite en neurosciences Marie-José Freund-Mercier, auteure d'*Ocytocine : entre mythe et réalité*. L'ocytocine n'agit pas seule : injectée dans le cerveau du campagnol des prairies (monogame), elle déclenche bien un attachement au partenaire, mais administrée au campagnol des montagnes (polygame), elle n'a aucun effet. *« La monogamie ne peut en aucun cas se résumer uniquement à l'ocytocine. D'autres facteurs dont la vasopressine et la dopamine entrent en jeu, sans oublier la présence de leurs récepteurs dans certaines zones du cerveau »*, appuie la scientifique. Tous ces acteurs chimiques interviennent dans des zones cérébrales particulières.

NICOLAS BAUMARD

« L'amélioration du niveau de vie augmente l'importance psychologique de l'amour »

Nicolas Baumard, directeur de recherche au CNRS

« Ce sont à peu près les mêmes neurotransmetteurs qui jouent lors des trois phases de l'amour romantique, mais les régions cérébrales impliquées sont un peu différentes. On peut désirer sans amour, et être amoureux de quelqu'un sans désir sexuel », résume le médecin et biologiste Bernard Sablonnière, auteur de *La Chimie des sentiments*. Dans un de ses replis, le cerveau héberge par exemple

GETTY IMAGES

l'insula, une petite zone impliquée dans les émotions. La neuro-imagerie montre qu'une petite zone s'y « active » dans l'attachement et une autre, bien distincte, pendant le désir sexuel. Autre exemple : l'amygdale, zone surtout liée aux émotions négatives, se « désactive » face au visage de l'être aimé, ainsi que la zone du cortex frontal gérant le jugement social. Pourquoi ces zones-là ? Probablement parce qu'elles sont elles aussi impliquées dans l'amour maternel, la forme d'amour originelle.

Biologiquement, parce qu'il implique des zones cérébrales et neurotransmetteurs similaires, l'attachement romantique ressemble beaucoup à l'amour maternel, confirme Marie-José Freund-Mercier. *« Le système d'attachement des adultes a probablement évolué à partir du système d'attachement aux petits,* suggère-t-elle. *À la différence notable de l'attirance sexuelle, absente dans les relations mère-enfant.* » Suivant cette logique, les principales théories expliquant l'émergence de l'amour romantique dans l'espèce humaine reposent sur la nécessité pour la mère d'obtenir l'aide du père afin d'augmenter les chances de survie de l'enfant. *« Trois hypothèses se détachent »*, énumère Adam Bode, anthropologue spécialiste de l'amour à l'École d'archéologie et d'anthropologie de l'université de Canberra (Australie). D'abord, l'attachement du couple aurait conduit le père à protéger sa famille, alors que la mère avait les bras pris par le bébé.

La pression sociale s'est ajoutée à la pression biologique

Il se peut également que l'amour ait poussé le père à s'occuper des enfants avec elle, mais Adam Bode n'y croit pas. *« La présence du père n'est souvent pas associée à une meilleure survie de la progéniture dans les sociétés où l'accès aux soins est limité.* » De plus, chez les primates, les soins paternels ont évolué bien plus tard que la monogamie. Troisième hypothèse, les futures mères ont pu s'attacher à des mâles capables de les nourrir suffisamment pour concevoir un bébé en bonne santé. *« Il est probable que plusieurs pressions évolutives ont contribué à l'évolution de l'amour romantique au cours des 5 à 6 derniers millions d'années, autour du point où le genre* Homo *s'est détaché des autres primates »*, conclut l'anthropologue. Cette émergence de l'amour romantique est cependant plus une exception qu'une règle, puisque le mode de vie par paire n'est présent que chez 5 % des mammifères.

Les humains ont poussé le concept de la vie à deux jusqu'à ajouter la pression sociale à la pression biologique. Au cours de l'histoire humaine, le couple a longtemps été synonyme de mariage plus que d'amour, et ce jusqu'aux années 1970, quand une majorité de personnes

commençaient leur vie de couple en étant mariées. Ainsi, « *le sens du mariage a évolué d'une union arrangée par intérêts au "mariage d'amour" qui unit deux personnes qui se sont choisies,* explique la sociologue Emmanuelle Santelli, directrice de recherche au CNRS et spécialiste du genre et du couple. *Il existe indéniablement une injonction au fait de vivre à deux et une norme sociale selon laquelle le couple doit être amoureux.* »

Mais pourquoi rêvons-nous de relations durables ? « *Aujourd'hui encore, le couple va de pair, le plus souvent, avec l'idée de famille qui se projette sur le long terme, des enfants aux petits-enfants* », analyse la sociologue. C'est pourquoi l'amour romantique renvoie à des conceptions de l'amour comme durable, exclusif et complémentaire. Ce type d'union nécessite de bien choisir son ou sa partenaire. Si la biologie ne sait pas encore expliquer pourquoi nous choisissons telle personne et pas une autre, il est clair que les couples unissent des personnes qui se ressemblent socialement, souligne Emmanuelle Santelli : on parle d'homogamie sociale.

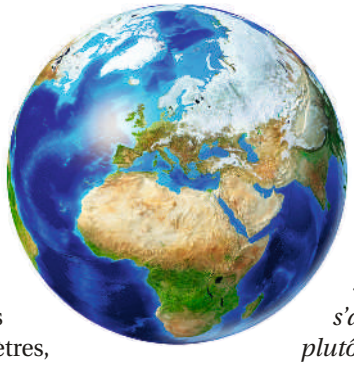
Les couples unissent des personnes qui se ressemblent socialement

Mais pour vraiment s'intéresser à l'amour romantique, encore faut-il que le contexte s'y prête. « *Dans la littérature occidentale, les fictions romantiques sont plus fréquentes dans les périodes de développement économique* », observe le spécialiste des sciences computationnelles Nicolas Baumard, directeur de recherche au CNRS. Dans une publication de *Nature Human Behaviour*, il démontre avec son équipe que plus le niveau de vie augmente, plus la proportion des romances est importante au détriment des autres genres. « *L'amélioration du niveau de vie augmente l'importance psychologique de l'amour* », conclut Nicolas Baumard. Un fait qui se vérifie depuis près de 4000 ans, âge des fictions connues les plus anciennes, et dans toutes les cultures, de la Chine au monde arabe, de l'Inde à l'Occident. Pour le chercheur, l'explication tient à un plus fort investissement affectif dans sa famille et donc dans son couple lorsque les conditions matérielles le permettent. Mais la question est encore loin d'être éclaircie. Finalement, pourquoi aimons-nous ? Au-delà d'une injonction sociale et biologique, l'amour romantique existe peut-être simplement parce qu'on en a les moyens. ■

Camille Gaubert
@CamilleGaubertb

GÉOPHYSIQUE

POURQUOI la Terre est-elle ronde ?


AFP

« *Plusieurs phénomènes contribuent à façonner notre planète. Mais l'un d'eux joue un rôle déterminant : la force de gravitation* », explique le géophysicien Jean-Louis Vigneresse, de l'université de Lorraine. Selon la loi de la gravitation universelle d'Isaac Newton, deux particules matérielles sont attirées l'une vers l'autre par une force dont l'intensité est proportionnelle à leur masse et inversement proportionnelle au carré de leur distance. Or, dans un corps liquide ou solide, toutes ces forces se combinent et les particules sont toutes attirées vers un seul et même point, le centre de gravité. Pour les objets de taille relativement modeste, comme les astéroïdes, la gravitation n'est pas assez importante pour vaincre la résistance mécanique des matériaux et les déformer. Leur géométrie reste donc quelconque, irrégulière, en forme de « patatoïde » notamment. Mais au-delà d'une certaine masse et d'un certain diamètre (de l'ordre de quelques centaines de kilomètres, qui dépend de la composition et surtout de la viscosité), « *les astres sont modelés par la force de gravitation et acquièrent nécessairement une forme sphérique qui correspond à un état d'équilibre* », indique Jean-Louis Vigneresse. C'est le cas des planètes naines telles que Pluton, des planètes comme la Terre, Mars ou Jupiter, mais aussi des étoiles. Aucune ne ressemble toutefois à une sphère parfaite. « *Elles s'apparentent plutôt à des ellipsoïdes, en raison de leur rotation sur elles-mêmes et de la force centrifuge qui tend à aplatir les pôles et renfler l'équateur* », signale le chercheur. Ainsi, pour notre planète dont le rayon moyen mesure 6371 km, la distance entre le centre de la Terre et les Pôles est plus courte d'une vingtaine de kilomètres qu'au niveau de l'équateur. ■

Franck Daninos @fdaninos

L'ÉNIGME DE L'EXPERTE

Pourquoi la vie s'accommode-t-elle si mal d'un chromosome de trop ?

Lorsqu'un embryon comporte un chromosome sexuel surnuméraire, cela pose un grave problème de viabilité. Les explications de la généticienne Edith Heard.

La plupart des espèces sur Terre possèdent des chromosomes sexuels. C'est ce qui fait d'eux des individus sexués. Chez les mammifères, et donc les humains, les femelles sont porteuses de chromosomes XX et les mâles de XY. Mais il existe un énorme déséquilibre, car le X est un chromosome très grand, avec plus de 1000 gènes, tandis que le Y est tout petit. Ce dernier ne possède qu'une centaine de gènes et seuls deux sont essentiels pour avoir les caractéristiques sexuelles de l'homme.

Il arrive que des erreurs viennent se glisser au moment de la formation de l'ADN. Un X est bien présent du côté de la mère, mais ni X ni Y n'est retenu du côté du père. Ces individus, appelés XO, n'ont qu'un seul chromosome. Les femmes dans ce cas sont atteintes du syndrome de Turner. Elles sont stériles mais il ne s'agit pas d'une pathologie lourde sur le plan médical. En revanche, lorsque, au lieu d'avoir un chromosome sexuel en moins, un embryon comporte un X surnuméraire, cela pose un grave problème. À titre de comparaison, lorsque la trisomie survient sur le chromosome 21, la personne souffre d'un syndrome de Down. Elle possède donc un chromosome en plus avec 250 gènes dessus, sans que cela ait empêché l'embryon de se développer. Pour tous les autres chromosomes, la trisomie n'est pas viable. Soit l'embryon meurt, soit l'enfant ne survit pas après la naissance. Mais pourquoi la vie n'est-elle pas possible avec un chromosome X en plus ? Entre deux ou trois chromosomes, la différence ne semble pas si importante. Et pourtant, l'embryon meurt alors très tôt.

Pourquoi certains gènes sont concernés par ce mécanisme et pas d'autres ? Il a été établi que des maladies auto-immunes sont dues à une double dose de gènes. Dans le cas du lupus, tous les gènes du deuxième X sont inactivés, sauf un qui échappe à la neutralisation, ce qui déclenche la maladie. C'est pour cela que 90 % des patients souffrant d'un lupus sont des femmes. Il existe quelques pistes pour répondre à cette question. On sait par exemple que de nombreuses protéines sont sensibles à la stœchiométrie [le calcul des quantités de matière qui participent à la réaction chimique]. Il ne s'agit pas juste de s'assembler entre elles, il faut aussi qu'elles se positionnent de façon spécifique pour que chacune trouve sa place. Cela pourrait jouer un rôle." ■

Propos recueillis par Coralie Lemke

@CoralieLemke

Professeure au Collège de France, Edith Heard est spécialisée en épigénétique dans l'inactivation du chromosome X chez les mammifères. Elle a reçu le grand prix Inserm en 2017. Elle est depuis 2019 directrice générale du Laboratoire européen de biologie moléculaire.

FRANÇOIS BOUCHON / FIGAROPHOTO.COM

« Hormis avec le chromosome 21, le plus petit de tous, aucune trisomie n'est viable »

COSMOS

POURQUOI

les extraterrestres ne nous répondent-ils pas ?

Les interrogations sur de possibles mondes extérieurs à notre système solaire agitent toujours l'humanité, de la communauté scientifique aux auteurs de science-fiction. Voici les différentes pistes explorées.

« *L'Univers est une forêt sombre dans laquelle chaque civilisation est un chasseur armé d'un fusil. […] Il doit être prudent, car la forêt est pleine d'autres chasseurs comme lui. S'il remarque une autre créature vivante […], il n'a qu'un seul choix : ouvrir le feu et l'éliminer. Dans cette forêt, l'enfer c'est les autres […]. Chaque créature qui dévoile son existence est très vite anéantie.* » Présentée dans *La Forêt sombre* (Actes Sud, 2017), deuxième volet d'une trilogie débutant par *Le Problème à trois corps* (2016), cette théorie constitue la trame principale du roman de l'écrivain chinois Liu Cixin. Elle stipule que l'Univers grouille de civilisations extraterrestres mais que celles-ci restent dans l'ombre, craignant d'être découvertes et détruites…

C'est aussi l'une des nombreuses solutions au célèbre paradoxe de Fermi, énoncé par le prix Nobel et physicien italo-américain Enrico Fermi en 1950. Au cours d'un repas avec ses collègues du Laboratoire de Los Alamos (États-Unis), il posait alors le raisonnement suivant : puisque notre galaxie contient quelque 200 milliards d'étoiles et que des centaines de milliards de planètes gravitent probablement autour d'elles, un grand nombre de civilisations ont dû se développer jusqu'à maîtriser le voyage interstellaire. Des milliers d'espèces auraient donc dû nous rendre visite, présume Enrico Fermi. Or, nous n'en avons trouvé aucune trace. Comment l'expliquer ?

DR S. SHOSTAK/ SPL/ SUCRE SALÉ

Le radiotélescope ATA (États-Unis) a pour mission de détecter la présence de civilisations extraterrestres.

« *Les questionnements de l'humanité sur de possibles mondes extérieurs sont certes beaucoup plus anciens* », rappelle le physicien Gabriel Chardin, du laboratoire Astroparticule et Cosmologie à Paris. Dans ses *Entretiens sur la pluralité des mondes* (1686), Bernard Le Bouvier de Fontenelle postulait ainsi la présence d'autres communautés, par exemple sur la Lune. Si elles ne sont pas encore venues jusqu'à nous, c'est en raison de la difficulté du voyage, estimait l'académicien. Au début du XX^e^ siècle, le Russe Constantin Tsiolkovski — « père » de l'astronautique moderne — était lui aussi persuadé que le cosmos fourmillait d'êtres intelligents. Plus avancés que nous, ils nous laisseraient « mûrir » et se contenteraient pour le moment de nous observer avant de nous inviter à rejoindre leur club galactique.

Enrico Fermi fut néanmoins le premier à poser assez précisément le problème. « *Il était particulièrement doué pour estimer des probabilités, calculer à la volée des ordres de grandeur en identifiant les différentes composantes d'un phénomène* », souligne Gabriel Chardin. Le radioastronome américain et fondateur du projet Seti (Search for Extra-Terrestrial Intelligence) Frank Drake franchit en 1961 une étape supplémentaire. Il estima que le

nombre (N) de civilisations détectables dépendait fondamentalement de sept termes multiplicatifs : le taux de formation d'étoiles dans la Galaxie ; la fraction d'étoiles possédant des planètes ; la fraction de planètes pouvant accueillir la vie ; la fraction de ces planètes où la vie a effectivement émergé ; la fraction de ces planètes où la vie intelligente apparaît ; la fraction de ces planètes capables et désireuses de communiquer ; et enfin la durée de vie moyenne d'une civilisation. Selon les estimations de Frank Drake, N avoisinait ainsi… un million !

Les scénarios pour résoudre le paradoxe de Fermi

« Le problème n'a aujourd'hui rien perdu de sa force, bien au contraire », note Nicolas Prantzos de l'Institut d'astrophysique de Paris. Depuis les années 1990, une flopée de planètes extrasolaires (exoplanètes) ont été effectivement découvertes, la barre des 5000 spécimens ayant été franchie en mars. On estime, par ailleurs, que 80 % des étoiles de la Galaxie seraient entourées de systèmes planétaires. Et que dans 30 % des cas, ceux-ci possèdent une ou plusieurs planètes rocheuses. Les scientifiques ont donc désormais une bonne connaissance du deuxième terme de la formule de Drake et commencent à circonscrire le suivant, sur les mondes potentiellement habitables. Mais pour les quatre autres paramètres, qui caractérisent l'apparition d'une vie monocellulaire évoluant en une civilisation interstellaire, *« nous sommes toujours dans l'ignorance la plus complète »*, insiste Gabriel Chardin. Face à une telle expectative, chercheurs et auteurs de science-fiction continuent ainsi de se triturer les méninges pour résoudre le paradoxe de Fermi. *« On recense près d'une centaine de réponses possibles,* détaille Nicolas Prantzos, *qu'on peut classer en trois catégories. »* Selon la première, nous serions tout simplement seuls dans la galaxie. La valeur d'un ou plusieurs termes de l'équation de Drake serait effectivement très faible, faisant tendre N vers 0. *« Si les astronomes sont généralement optimistes sur l'existence d'intelligences extraterrestres, les biologistes sont beaucoup plus circonspects »*, reconnaît Nicolas Prantzos. Car l'évolution biologique ne favorise pas forcément l'intelligence ou la complexité. De fait, à l'échelle de notre planète âgée de 4,5 milliards d'années, *Homo sapiens* n'est apparu qu'il y a 300 000 ans et n'a franchi le stade industriel qu'il y a deux siècles. Quant au chemin évolutif qui a permis notre émergence, il s'avère tellement improbable, soumis à tant d'aléas, qu'il pourrait bien être le simple fruit du hasard. Si un astéroïde n'avait pas percuté la Terre il y a 66 millions d'années, par exemple, les mammifères vivraient peut-être encore à l'ombre des dinosaures.

Deuxième classe de réponses : nous ne sommes pas seuls… et avons, peut-être, déjà été visités ! Un scénario déconcertant mais tout à fait envisageable, *« surtout si les civilisations technologiques sont rares et que leur durée de vie est inférieure à leur rythme d'apparition »*, explique Nicolas Prantzos qui a publié en 2020 des simulations détaillées sur la question. Si les civilisations n'émergent que tous les 100 millions d'années et disparaissent au bout de 1 million d'années, par exemple, N ne serait pas nul mais très inférieur à 1. *« Les civilisations pourraient alors ne jamais se croiser, en étant seules dans l'espace sans l'être dans le temps »*, relève l'astrophysicien. L'une d'elles aurait ainsi pu visiter notre planète ▸

SEBASTIAN KAULITZKI/SPL/SUCRE SALÉ

D. GOUPY/SIGNATURES

« Les astronomes sont plus optimistes que les biologistes sur l'existence d'intelligences extraterrestres »

Nicolas Prantzos,
Institut d'astrophysique de Paris

dans un lointain passé. Comme dans le film de Stanley Kubrick *2001, L'Odyssée de l'espace* (1968), où des extraterrestres insufflent l'intelligence à un groupe d'australopithèques avant de poursuivre leur exploration de la Galaxie sans jamais revenir sur Terre.
Enfin, selon une troisième catégorie de réponses, les plus nombreuses, N pourrait être très grand mais personne n'aurait voulu ou encore réussi à communiquer. Parmi elles : les voyages interstellaires sont très difficiles voire impossibles ; des messages ont été envoyés mais aucun n'a été détecté ou interprété comme tel ; les civilisations extraterrestres ne communiquent pas car elles ne sont pas curieuses et se suffisent à elles-mêmes ; elles nous évitent en raison de nos penchants belliqueux, etc. Il se pourrait, aussi, qu'elles s'autodétruisent après une croissance rapide et avoir atteint un certain seuil : soit parce qu'elles sont incapables de maîtriser leur développement technologique, comme le pensait lui-même Enrico Fermi dans le contexte d'une possible guerre nucléaire entre les États-Unis et l'URSS ; soit par l'épuisement des ressources. *« Cette dernière hypothèse me semble la plus généralisable,* avance Gabriel Chardin. *Car une croissance exponentielle, comme celle que nous connaissons depuis des dizaines d'années, débouche sur de grandes instabilités et des effets destructeurs.* » Ces civilisations auraient pu ainsi toutes disparaître avant de maîtriser la communication et le voyage interstellaire. D'où le silence actuel, qui nous renvoie aussi à notre propre destin. Car en spéculant sur la sociologie des extraterrestres, nous projetons immanquablement nos mythes, angoisses et représentations humaines. *« Ces questionnements sont comme un miroir tendu devant notre propre civilisation,* jauge Nicolas Prantzos. *Nous essayons de mieux saisir, grâce à eux, notre place au sein du cosmos.* » ■

Franck Daninos @fdaninos

HIGH-TECH

POURQUOI invente-t-on des cryptomonnaies ?

Pour Satoshi Nakamoto, la crise financière de 2007-2008 a montré une chose : on ne peut pas faire confiance au système financier et bancaire traditionnel, ni dans ses autorités de régulation. Face à ce constat d'échec, ce mystérieux personnage dont on ne sait toujours rien invente une monnaie numérique, le bitcoin. Les codes du logiciel permettant de mettre en œuvre ce projet sont publiés en janvier 2009. Le but, comme pour d'autres cryptomonnaies créées par la suite (Ethereum, Monero), est de se passer d'institutions financières comme de toute intervention étatique.
Les cryptomonnaies circulent selon des règles algorithmiques et cryptographiques échappant à toute manipulation. Elles s'appuient sur une infrastructure technique décentralisée appelée *blockchain*, qui garantit la transparence, la traçabilité et l'intégrité des opérations. Tout peut se dérouler sous pseudonyme entre utilisateurs qui ne se connaissent pas,

AVISHEK DAS / SOPA / ZUMA / REA

voire ne se font pas confiance. C'est *a priori* le système idéal pour des populations dépourvues de compte bancaire, ou pour faciliter les transferts d'argent depuis l'étranger. Pour ces raisons, le Salvador, en septembre 2021, puis la République centrafricaine, en avril dernier, ont adopté le bitcoin comme monnaie officielle au côté de leur devise classique, dollar américain pour l'un, franc CFA pour l'autre. Mais il y a d'autres enjeux : s'affranchir des politiques monétaires, échapper aux interventions d'organismes internationaux, notamment dans le cadre de sanctions financières. Il reste que le bitcoin, devenu enjeu de spéculation, a aussi démontré son instabilité. ■

Arnaud Devillard
@A_Devila

ANTIQUITÉ

POURQUOI

les anciens Égyptiens ont-ils bâti des pyramides ?

Cette forme géométrique dressée vers le ciel et le gigantisme des constructions seraient liés à la recherche d'éternité des souverains de l'Ancien Empire.

L'Égypte pharaonique fascine. Et dès la plus haute antiquité, les pyramides figurent parmi les monuments qui ont le plus émerveillé les premiers voyageurs. Par leurs dimensions prodigieuses, leur présence imposante, le fait qu'elles aient servi de tombeaux à des rois, elles furent très tôt sources de mythes. Au fil du temps, concernant ces monumentales réalisations classées parmi les merveilles du monde, tout est aussi devenu mystère. À commencer par le choix de leur forme. Pour quelle raison, aux yeux des anciens Égyptiens, cette configuration architecturale s'était-elle imposée comme une nécessité ? En fait, cette forme géométrique était liée à la recherche d'éternité des souverains… De la même façon que pour les obélisques, véritables aiguilles dressées vers le ciel, la pyramide était un symbole solaire par excellence. Les parois étant aujourd'hui dépourvues des revêtements de calcaire blanc qui en recouvraient la totalité des surfaces, on ne peut imaginer l'éclatante blancheur qu'elles renvoyaient lorsque ces monuments étaient baignés par les rayons solaires de Rê.

Un lieu de création autant que de renaissance

Cette forme pyramidale, par sa symbolique, représentait surtout dans l'esprit des anciens Égyptiens le tertre qui avait émergé de Noun, l'océan primordial, celui sur lequel l'astre solaire était apparu pour la première fois. La pyramide était un lieu de création autant que de renaissance pour le pharaon dans son voyage d'éternité. Les rayons du soleil étaient considérés comme des marches permettant au souverain d'accéder au ciel pour y retrouver les dieux, se joindre au disque solaire et ainsi se mêler à celui qui l'avait engendré. Les toutes premières pyramides, dans leur construction « à degrés », à l'instar du complexe funéraire de Djoser, à Saqqarah (2600 avant J.-C.), matérialisent d'ailleurs encore plus explicitement cet escalier géant qui montait vers les cieux. Plus tard, au Nouvel Empire (1500-1000 avant J.-C.), il est fort probable que l'installation de la nouvelle nécropole pharaonique dans la Vallée des Rois, à la hauteur de Thèbes sur la rive occidentale du Nil, ait eu un rapport direct avec la forme pyramidale de la montagne thébaine qui la dominait — Al-Qum ou La Cime.

Le modèle de la pyramide n'a toutefois pas été exclusif à l'Égypte antique. Les souverains de Kouch, en Nubie — les pharaons noirs — se sont fait inhumer dans ces mêmes monuments. Plus pointues et moins larges que leurs cousines égyptiennes, près de 220 pyramides sont toujours visibles dans l'actuel Soudan. ■

Bernadette Arnaud @NarudaaArnaud

PHILIPPE BODY/HEMIS.FR

Tombeaux des rois et reines d'Égypte, les pyramides s'élevaient vers le haut pour permettre aux souverains d'accéder au ciel (ici celles de Gizeh). ►

GETTY IMAGES

PSYCHOLOGIE

POURQUOI

l'humain rit-il ?

Pour les animaux sociaux que nous sommes, le rire est autant une question de survie que de plaisir.

Au commencement étaient les chatouilles… C'est la plus ancienne façon de déclencher le rire, un comportement archaïque *« remontant au moins au dernier ancêtre commun des grands singes et des humains, il y a 10 à 16 millions d'années »*, selon la psychologue britannique Marina Davila Ross. Titillés, les orangs-outangs, gorilles, bonobos et chimpanzés produisent en effet *« des vocalisations avec des signatures acoustiques assez similaires aux nôtres »*. Si le rire a probablement évolué à partir d'une respiration laborieuse et chahutée, les chatouillements sont eux-mêmes un prolongement ou une variante des toilettages, câlins, bagarres, jeux ou préliminaires sexuels inhérents à la vie de groupe des espèces sociales, précise Robert Provine. Selon ce neuropsychologue américain, le rire, *« contrairement aux pleurs, n'est pas inné chez l'humain et n'apparaît chez le bébé qu'à l'âge de 4 mois »*. Ce qui suggère que les sanglots ont précédé l'hilarité dans l'évolution, probablement parce que les premiers fonctionnent comme un signal vital d'alerte, de peur, de faim. Le rire en réponse au chatouillis enverrait, lui, un message du type *« tout va bien, mes besoins basiques sont satisfaits, c'est un bon moment pour socialiser, jouer, explorer »*, établissant une communication entre deux individus au-delà du langage, et favorisant l'apprentissage mutuel.

Mais pourquoi les humains rient-ils en l'absence de toute incitation physique, et en groupe ? Pour comprendre, *«il faut encore distinguer le rire franc motivé par un stimulus et le rire autogénéré et stratégique »*, précise le biologiste évolutionniste américain Matthew Gervais. Les premiers éclats de rire spontanés parmi nos ancêtres ont été générés selon lui par des *« situations d'incongruité non menaçante »*. Comme une chute avec moulinets de bras mais sans gravité. *« À partir des données de son environnement, notre cerveau fait à chaque instant une prédiction logique du futur immédiat. C'est l'inattendu qui fait naître le ridicule et provoque le rire »*, explique Jean-Christophe Cassel, neurobiologiste à l'université de Strasbourg.

Le même mécanisme de « cassure » serait à l'œuvre dans les mots d'esprit, les bla-

gues. « *L'incongruité est le précurseur évolutif de l'humour tel que nous le connaissons* », assure aussi Matthew Gervais, qui estime que « *le rire spontané s'est déployé en renforçant les liens et les jeux en communauté il y a 4 à 2 millions d'années, lors des épisodes de sécurité éphémères* ». Passé la surprise, l'idée de danger et la peur étant écartées, le groupe évacue le stress en se rassemblant autour du rire. La contagion émotionnelle est quasi irrésistible car nous sommes des espèces empathiques, dont le cerveau est doté de neurones miroirs : observer une personne qui commence à s'esclaffer suffit à activer chez nous les neurones impliqués dans la contraction des muscles zygomatiques. De surcroît, « *le rire social génère des sensations agréables et une augmentation significative de la libération d'endorphines et d'autres peptides opioïdes dans les zones du cerveau contrôlant l'excitation et les émotions* », précise le neuroscientifique finlandais Lauri Nummenmaa. Pendant ses expériences, plus les participants avaient de récepteurs opioïdes, plus ils riaient, ce qui pourrait expliquer que certains aient un tempérament plus porté vers la rigolade. Pour le chercheur, le rire a au fil du temps remplacé l'épouillage et permis une expansion significative des réseaux sociaux humains.

De multiples fonctions sociales et stratégiques

Mais le plus souvent, les gens rient sans le moindre stimulus, blagues ou farces, observe pour sa part Robert Provine. Comment l'expliquer ? « *Il y a environ 2 millions d'années, les ancêtres des humains ont développé la capacité de contrôler volontairement les muscles du visage,* précise Matthew Gervais. *En conséquence, le rire a été coopté pour de nouvelles fonctions, y compris la ponctuation stratégique de la conversation et la transmission de sentiments ou d'idées telles que l'embarras et la dérision.* » Les humains peuvent accéder volontairement au « programme rire » et l'utiliser pour lisser les interactions, apaiser les autres, induire des positions favorables pour eux, susciter des émotions plus ou moins conscientes chez leur entourage, se défendre, duper, remettre quelqu'un à sa place, se moquer d'autrui, de soi-même ou d'une situation par trop intolérable. « *Le rire ne permet pas seulement d'apaiser le stress ou la douleur, il est révélateur du statut de chacun,* résume le Britannique Jordan Raine, spécialiste des vocalisations non verbales. *Sa fonction principale semble être de créer et d'approfondir les liens sociaux. Au fur et à mesure que nos ancêtres ont commencé à vivre dans des structures sociales plus grandes et plus complexes, la qualité des relations est devenue une question de survie et il a joué un rôle crucial.* » Ce qui permet à Robert Provine de conclure, sans plaisanter « *que rire est décidément une affaire sérieuse* ». ■

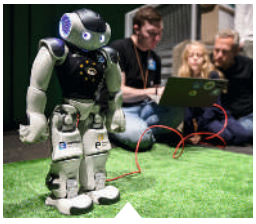
Rachel Mulot @RachelFleaux

HIGH-TECH

POURQUOI

l'intelligence artificielle reste-t-elle si peu intelligente ?

« *L'intelligence artificielle* [IA], *ce n'est pas de l'intelligence* », affirmait en 2019, à *Sciences et Avenir*, Luc Julia, directeur scientifique de Renault et co-inventeur de l'assistant vocal Siri. Pour provocatrice qu'elle soit, la formule témoigne d'un constat partagé par nombre de chercheurs : l'IA est encore loin d'égaler les facultés humaines. Des machines autonomes et omnipotentes restent un fantasme de science-fiction. Car malgré des progrès impressionnants au début des années 2010, les technologies les plus en vogue (les réseaux de neurones) reposent sur l'apprentissage et le calcul statistique. Or ces techniques nécessitent quantité d'exemples et de données (images, mots, sons, situations) quand l'humain n'en a besoin que d'un ou deux. Cette IA est aussi incapable de généraliser, de simuler le sens commun ou l'intuition. « *Prenez des notions comme poursuivre, empêcher, rencontrer… ou la jalousie. Un enfant comprend en une, deux, trois fois, sans avoir appris de définition,* note Jean-Louis Dessalles, maître de conférences en informatique à Télécom Paris. *Mais on ne teste jamais les réseaux de neurones là-dessus. Ils fonctionnent sur des objets, pas sur des relations.* » Il nuance toutefois : ces limites sont justement liées au fait que l'essentiel de la recherche porte sur les réseaux de neurones, au détriment d'autres approches axées sur la compréhension des mécanismes de l'intelligence humaine. « *Si seulement 1 % des efforts de recherche en réseaux de neurones passait sur ce type de travaux, on débloquerait le problème bien plus vite.* » ■ **Arnaud Devillard** @A_Devila



A. HEIMKEN/DPA/ZUMA PRESS/REA

L'IA est encore loin d'égaler les facultés humaines, y compris celles d'un enfant.

CLIMAT

POURQUOI

va-t-on manquer d'eau douce ?

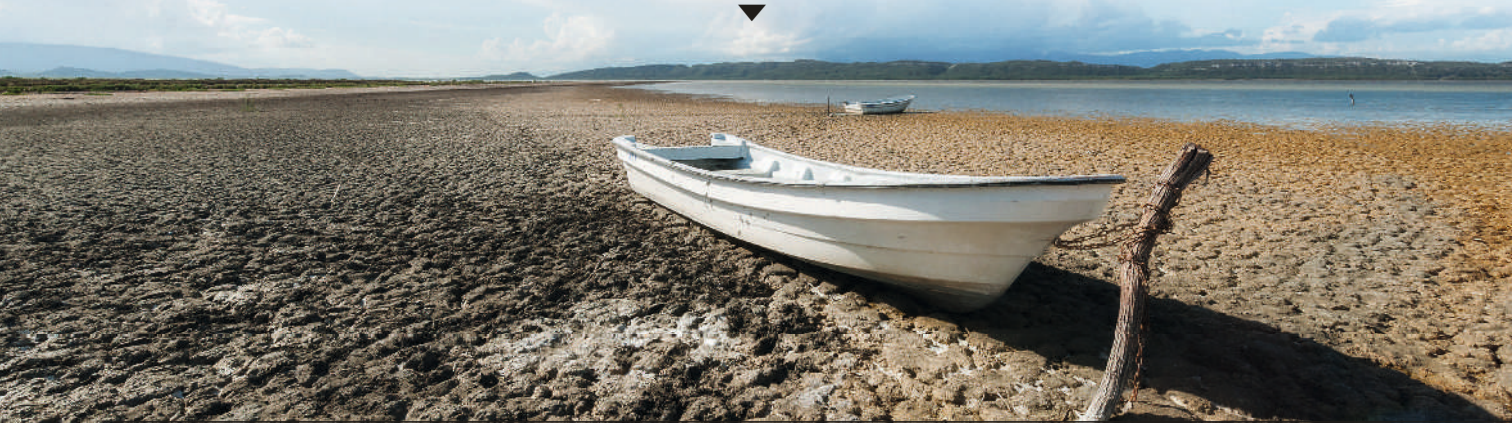
Le changement climatique perturbe le cycle de l'eau : les pluies ne sont plus régulières, les inondations alternent avec de longues périodes de sécheresse et la réduction de la masse des glaciers diminue les apports en eau douce.

La Terre contient 1,386 milliard de km^3 d'eau. Ce volume a diminué d'un quart par décomposition de la molécule depuis la formation de notre atmosphère, il y a environ 3,8 milliards d'années, mais aujourd'hui, il varie très peu. 70 % de l'eau est située dans les océans et 97 % est salée. Les 3 % d'eau douce proviennent donc de l'évaporation au-dessus des océans. 90 % de la vapeur produite retourne dans la mer, 10 % arrose les continents. Pour que la vapeur se transforme en eau, sa température doit baisser. C'est pourquoi les précipitations se produisent principalement sur les reliefs. Ce qui explique aussi qu'aujourd'hui, la grande majorité de l'eau douce existe sous forme de glace, de neige, de nappes souterraines. Seulement 0,3 % se trouve à l'état liquide à la surface, dans les rivières, étangs et lacs. La répartition de l'eau douce dépend du relief mais aussi du climat. Dans les zones désertiques et semi-arides exposées au soleil, la ressource s'évapore très rapidement. Dans les zones tempérées, la majorité des précipitations s'infiltrent dans le sol pour recharger les nappes phréatiques ou, en hiver, sont stockées sous forme de neige et glace dans les montagnes. Cette phase du cycle de l'eau est essentielle pour les activités humaines.

La Terre vient de franchir une « limite planétaire »

Elle assure en effet un approvisionnement régulier tout au long de l'année. Si les pluies de printemps et d'été sont aussitôt absorbées par la végétation, celles de l'automne et de l'hiver sont préservées pour le retour de la croissance des plantes. Mais cette régulation est désormais mise à mal par le changement climatique. L'augmentation de la chaleur dans les premiers mètres de la surface des mers favorise une production plus importante de vapeur d'eau. Le cycle de l'eau s'accélère et devient chaotique, comme le révèlent les travaux de l'Institut des sciences de la mer de Barcelone (Espagne) publiés le 15 avril dans *Scientific Reports*. Le 6^e rapport du Giec (2022) note ainsi une croissance des précipitations partout sur la planète. Or elles ne sont plus régulières : les pluies catastrophiques et les inondations alternent avec de longues périodes de sécheresse. En outre, la réduction de la masse des glaciers de montagne diminue les apports en eau douce au printemps, lors de la croissance des plantes. Selon une étude du Stockholm Resilience Center (Suède) parue en février dans *Nature*, le monde vient ainsi de franchir une « limite planétaire » : la consommation d'eau par les plantes, les animaux, les humains jugée supportable pour la planète est estimée à 2600 km^3 par an. Or elle est devenue excédentaire, notamment du fait de la hausse des températures. Dépasser cette limite, c'est entrer dans une zone de danger. ■

Loïc Chauveau
@Loic_Chauveau



THOMAS LINKEL/LAIF-REA

La lagune d'eau douce de Cabral (République dominicaine), en voie de désertification.

L'ÉNIGME DE L'EXPERT

Pourquoi tout le monde n'est-il pas à l'aise en mathématiques ?

Il n'existe pas de prédisposition génétique entre matheux et littéraires, explique le mathématicien David Bessis. Tout est affaire de méthode et de pédagogie.

Il existe une croyance fausse selon laquelle certaines personnes seraient naturellement douées pour les maths et d'autres naturellement nulles. On entend dire que ce serait inné, comme s'il y avait une prédisposition génétique, une « bosse des maths ». Mais, dès l'enfance, les différences de niveau en la matière sont tellement vastes que l'hypothèse génétique ne tient pas. Il y a sans doute une part d'inné, mais forcément une énorme part d'acquis. Or qu'est-ce que cela veut dire exactement ? Comment ces notions sont-elles acquises ? Ce serait une erreur de réduire cela à des mécanismes sociaux liés à la culture et au niveau de vie. On sait qu'au sein même des familles, quels que soient les milieux, il existe des écarts gigantesques.

Ma conviction est que cela se joue au niveau de l'expérience intime : ce que nous faisons dans notre tête, les habitudes mentales que nous prenons, notre manière d'interagir avec nos idées, nos images mentales et nos émotions. Or cette expérience intime n'est jamais discutée, on n'enseigne pas les gestes mentaux qui permettent de progresser. Ainsi se perpétue le mythe d'une différence de naissance entre matheux et littéraires, ce qui neutralise complètement l'enseignement de notre discipline. C'est comme si on voulait enseigner la natation sans expliquer les bons mouvements et en faisant croire aux enfants que c'est une affaire de génétique, que certains flottent et que les autres sont condamnés à couler. Or ce qui est frappant en maths, c'est que l'on commence toujours par ne pas comprendre. La réaction naturelle est de se dire qu'on est nul et de se décourager. À 30 ans passés, alors que j'étais déjà un chercheur accompli, je me suis rendu compte qu'il me restait un blocage social : je n'osais pas dire quand je ne comprenais pas quelque chose. J'ai appris une technique pour surmonter cela et j'ai fait d'immenses progrès dans ma matière. Les plus grands mathématiciens ont raconté ne pas être plus doués que les autres. Ils disent s'y être pris autrement. Aujourd'hui, nous n'avons pas réussi à enseigner les mathématiques à tout le monde, sûrement parce que les choses ne sont pas présentées de la bonne manière. L'élément clé à transmettre est d'apprendre à regarder en face ce qu'on ne comprend pas, plutôt que de s'en débarrasser. Surmonter sa peur, tout simplement. ■

Propos recueillis par Coralie Lemke

@CoralieLemke

Professeur assistant à l'université Yale (États-Unis) de 1999 à 2001, David Bessis a ensuite intégré le CNRS. En 2010, il fonde Tinyclues, une start-up spécialisée en marketing prédictif. Il vient de publier *Mathematica* (Seuil).

SÉBASTIEN SORIANO / FIGAROPHOTO.COM

« L'élément clé à transmettre est d'apprendre à regarder en face ce que l'on ne comprend pas, plutôt que de s'en débarrasser »

PHYSIQUE

POURQUOI

ne peut-on pas dépasser la vitesse de la lumière ?

Selon la théorie de la relativité d'Einstein, la vitesse de la lumière constitue un mur infranchissable, établi à environ 299 792 kilomètres par seconde. Mais dans certaines circonstances, des particules parviennent à le dépasser.

« *C'est une conséquence de la relativité restreinte,* explique Roland Lehoucq, astrophysicien au Commissariat à l'énergie atomique (Saclay). *Dans son article initial de 1905, Albert Einstein fait en effet le postulat que la vitesse de la lumière est invariante quel que soit le référentiel, ce qui équivaut à dire qu'on ne peut la dépasser. À l'aune de la physique de Galilée qui prévalait à l'époque, c'est un postulat simplement scandaleux, puisque les vitesses étaient censées s'additionner les unes aux autres.* »

Pour comprendre, il faut remonter dans le passé. Jusqu'au XVIIe siècle, philosophes et scientifiques pensaient que la vitesse de la lumière était infinie, ce qui d'emblée excluait toute possibilité de la dépasser. Au début du XVIIe siècle, Galilée émet l'hypothèse d'une vitesse finie de la lumière. Il faudra ensuite des siècles de tentatives de mesure pour qu'à la fin du XXe siècle, un accord international la fixe à 299 792 458 m/s dans le vide. Et cette vitesse ne varie jamais, comme l'ont démontré sans le vouloir les Américains Albert Abraham Michelson et Edward Morley. Depuis Platon, les scientifiques pensaient que l'espace était occupé par un fluide aux diverses propriétés, nommé éther. Lorsqu'en 1801, la nature ondulatoire de la lumière est démontrée par le physicien anglais Thomas Young, en toute logique, l'éther apparaît comme étant le milieu dans lequel les ondes lumineuses se propagent, à l'instar de la houle dans l'eau.

H. ASSOULINE/OPALE PHOTO

« On constate qu'il existe une vitesse maximum invariante quel que soit le changement de référentiel »

Roland Lehoucq, astrophysicien au Commissariat à l'énergie atomique (Saclay)

En 1881, Albert Abraham Michelson, bientôt rejoint par Edward Morley, veut mettre en évidence le mouvement de la Terre par rapport à cet éther.

Selon la pensée galiléenne, si la lumière d'une étoile nous provient du sens opposé à celui du déplacement de la Terre, on devrait voir arriver cette lumière plus vite — nous allons à sa rencontre — que si la lumière doit rattraper la Terre dans sa course sur son orbite. La vitesse orbitale de la Terre étant d'environ 30 km/s et celle de la lumière d'environ 300 000 km/s, la vitesse de la lumière devrait varier approximativement de 0,01 % selon sa provenance. Pour le prouver, Albert Abraham Michelson et Edward Morley mettent au point un interféromètre — qui vaudra au premier le prix Nobel de physique en 1907. Pendant six ans, les deux hommes mèneront une série d'expériences avec cet instrument, en vain. D'où qu'elle vienne, la lumière semblait avoir une vitesse invariable.

C'est ce constat qu'Albert Einstein inscrit en 1905 dans sa théorie de la relativité restreinte. Notée *c* pour célérité, la vitesse de la lumière est indépendante du mouvement de la source et de l'ob-

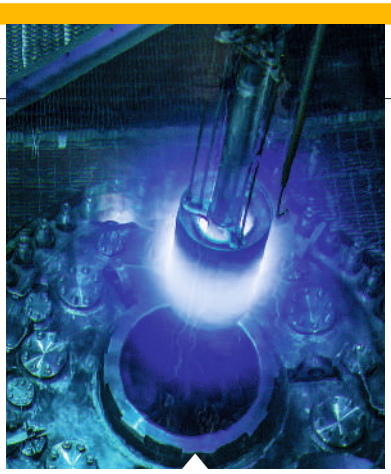
GETTY IMAGES

servateur, et ce quel que soit le système de référence. Le concept de « système de référence » peut s'expliquer ainsi : Vous êtes sur l'autoroute et une voiture vous double à une vitesse supérieure à la vôtre. Piqué au vif, vous accélérez et bientôt les deux véhicules roulent côte à côte à la même vitesse. Dans ce nouveau système de référence, les deux voitures semblent immobiles l'une par rapport à l'autre. Rien de tel pour la lumière, explique Albert Einstein, dont la vitesse demeure la même quels que soient les référentiels ! *« En fait, il n'y avait pas nécessité de faire cette hypothèse sur la lumière,* souligne Roland Lehoucq. *En reformulant la relativité d'Einstein pour rendre ses fondements plus généraux, on constate qu'il existe une vitesse maximum invariante quel que soit le changement de référentiel, vitesse que l'on pourrait appeler la constante d'Einstein. Et il se trouve que les expériences de Michelson et Morley ont montré que c'est celle de la lumière.* »

Un phénomène curieux qui fait exception

Jamais atteinte, la limite *c* est régulièrement approchée au sein du LHC (Large Hadron Collider), l'accélérateur de particules du Cern, à Genève, qui forme un anneau de 27 km sous la frontière franco-suisse. Des protons y sont accélérés à 99,9999991 % de la vitesse de la lumière dans le vide. Il existe toutefois un phénomène curieux qui permet de dépasser la lumière… du moins lorsque celle-ci est ralentie par le milieu qu'elle traverse. C'est le cas notamment dans l'eau, où elle circule à 75 % de sa vitesse dans le vide. Des particules peuvent alors se propager plus vite que les photons et il se produit un phénomène analogue à celui du mur du son. Lorsqu'un avion, par exemple, dépasse la vitesse du son dans l'air (1224 km/h), il déclenche une onde de choc perceptible sous forme de « bang » sonore. Le dépassement du mur de la lumière produit, lui, un flash lumineux. C'est ce phénomène que l'on observe dans les piscines des réacteurs

nucléaires d'où émane une lumière bleutée (ou ultraviolette), nommé effet Tcherenkov, ou Vavilov-Tcherenkov du nom de ses découvreurs. Ce sont d'abord les travaux de Marie Curie qui, dès 1910, ont mis en évidence ce rayonnement de l'eau soumise à une source radioactive. Mais il faudra attendre 1934 pour que les physiciens russes Sergueï Vavilov et Pavel Tcherenkov en donnent l'explication. Laquelle vaudra un prix Nobel au second en 1958. Cet effet Tcherenkov est également à l'origine d'étranges mirages lumineux dans le champ visuel (des phosphènes) rapportés par les astronautes des missions Apollo : cela se produisait lorsque des particules de vents solaires traversaient le liquide de leurs globes oculaires. « *En astrophysique, certains objets sont toutefois dits supraluminiques,* indique Roland Lehoucq. *En 1981, on a ainsi observé un jet émis par le quasar 3C273, le quasar le plus brillant du ciel. Et surprise, ce jet de matière allait plus vite que la lumière ! On a compris ensuite que cela résultait d'une mauvaise interprétation des mesures, une sorte d'illusion d'optique.* »



OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY

Dans cette piscine de réacteur nucléaire, les particules se déplacent plus vite que la lumière, émettant une lumière bleue appelée effet Tcherenkov.

La relativité générale établit par ailleurs une relation entre la masse et l'énergie d'une particule et démontre que l'énergie d'une particule de masse non nulle augmente avec sa vitesse. Le concept de masse inerte l'illustre bien : plus le corps est massif, plus sa mise en mouvement et son accélération nécessitent de l'énergie. Il faudrait ainsi une énergie infinie pour qu'un vaisseau spatial atteigne la vitesse de la lumière dans le vide.
En 1964, le physicien américain Gerald Feinberg a néanmoins imaginé l'existence de particules qui évolueraient en permanence au-dessus de la vitesse de la lumière, les tachyons (du grec *tachus* signifiant rapide). Il y aurait ainsi, selon lui, trois classes de particules : celles qui vont moins vite que la lumière (soit la quasi-totalité des particules connues), celles qui vont aussi vite que les photons, et, enfin, celles qui se propagent à une vitesse exclusivement supraluminique. « *C'est une expérience de pensée, un jeu de physiciens qui n'a aucune réalité à ce jour,* précise Roland Lehoucq. *Cela permet de tester la cohérence des théories* » Si les tachyons existaient, cela donnerait lieu à quelques bizarreries. Selon Gerald Feinberg, les tachyons peuvent aller vers le passé ou le futur — tels que définis par la mécanique newtonienne. Dans certaines œuvres de science-fiction, ils sont ainsi utilisés pour envoyer des messages dans le futur ou le passé pour modifier le présent. « *Cela viole le principe de causalité selon lequel la cause précède l'effet,* remarque Roland Lehoucq. *Or il n'y a pas de physique sans causalité !* » ■

Sylvie Rouat
@srouat1

ANATOMIE

POURQUOI

les humains ont-ils le cœur à gauche ?

SPL/SUCRÉ SALÉ

Il en est du cœur comme de l'estomac ou de la rate : tous ces organes sont à gauche de notre corps. Le foie, lui, est à droite. Le corps humain est ainsi parfaitement latéralisé. Il n'y a pas de finalité biologique particulière à cela. Simplement, sous le contrôle et la direction de plusieurs gènes dits architectes, les organes — à commencer par le cœur — se placent peu à peu dans le corps au moment de l'embryogenèse de façon à occuper au mieux l'espace disponible.
Toutefois, il arrive qu'ils se rangent différemment, avec des conséquences plus ou moins graves. Ainsi, une personne atteinte de *situs inversus* est l'image parfaite dans le miroir d'un sujet « normal » : son cœur et son estomac sont à droite, son foie à gauche, etc. Les positions de tous ses organes se trouvent inversées. Cela ne pose aucun problème de santé particulier, au point que la plupart des individus concernés ignorent être porteurs de cette anomalie. 20 % d'entre eux ont néanmoins des problèmes cardiaques. Second cas de figure : si seul le cœur est à la mauvaise place (à droite), on parle alors de *situs solitus*. Tous ceux qui présentent cette anomalie souffrent de malformations cardiaques. Dernier cas : le *situs ambiguus*, où les organes sont dupliqués ou absents, et qui entraîne le décès de 80 % des bébés. Selon une étude américaine, 0,01 % de la population a un cœur à la « mauvaise » place. ■ **Hervé Ratel**

QUAND LE MONDE S'ÉTEINDRA,
SON HISTOIRE COMMENCERA

VESPER

CHRONICLES

UN FILM DE
KRISTINA BUOZYTE & BRUNO SAMPER

A MATRIX MATRIX & RUMBLE FISH PRODUCTION IN CO-PRODUCTION WITH 10, 80 FILMS AND EVL. PROD WITH THE SUPPORT OF LITHUANIA FILM CENTRE LITHUANIAN TAX INCENTIVE FOR FILM PRODUCTION CENTRE NATIONAL DU CINEMA ET DE L'IMAGE ANIMEE, EURIMAGES, BNP PARIBAS FORTIS FILM FINANCE TAX SHELTER OF THE BELGIAN FEDERAL GOVERNMENT CREATIVE EUROPE PROGRAMME MEDIA OF THE EUROPEAN UNION AND WITH THE PARTICIPATION OF OCS, WALLIMAGE (WALLONIA), VOO & BEVA. KRISTINA BUOZYTE & BRUNO SAMPER FILM "VESPER" STARRING RAFFELLA CHAPMAN EDDIE MARSAN ROSY McEWEN RICHARD BRAKE MELANIE GAYDOS CASTING BY DES HAMILTON GEORGIA TOPLEY DONATAS ŠIMKUNAS SOUND RECORDIST MARTYNAS TAMULIS SOUND DESIGNER DAVID VRANCKEN SOUND RE-RECORDING MIXER JEAN-STEPHANE CARRE CONCEPT ART BY VILIUS PETRAUSKAS SFX SUPERVISORS ERIC DE MULE, ROOS VOORSLUIS VFX SUPERVISORS YANN BLONDEL, BASTIEN BRENOT HAIR & MAKE UP DESIGNER ÉGLÉ MIKALAUSKAITE COSTUME DESIGNERS FLORENCE SENOTTES, CHRISTOPHE PIDRE PRODUCTION DESIGNERS RAIMONAS RASTAUSKAS, RAIMONDAS DICIUS ORIGINAL MUSIC BY DAN LEVY CINEMATOGRAPHY BY FELIKSAS ABRAMAUSKAS L.A.C. EDITED BY SUZANNE FENN ASSOCIATE PRODUCERS JON VANGDAL AAMAAS REGIS BABIAWY NICK FORD PJ HENDRICKS EXECUTIVE PRODUCERS SEBASTIEN RAYBAUD CECILE CAGET LOUIS BALSAN MIKE SHEMA CO-PRODUCED BY BENOIT ROLAND FLORENT STEINER GUILLAUME MATAS PRODUCED BY ASTA LUKAITYTE DAIVA VAIKAITE JOVASENE ALEXIS PERRIN KRISTINA BUOZYTE STORY BY BRUNO SAMPER & KRISTINA BUOZYTE WRITTEN BY BRIAN CLARK BRUNO SAMPER & KRISTINA BUOZYTE DIRECTED BY KRISTINA BUOZYTE & BRUNO SAMPER

LE 17 AOÛT AU CINÉMA

PHILOSOPHIE

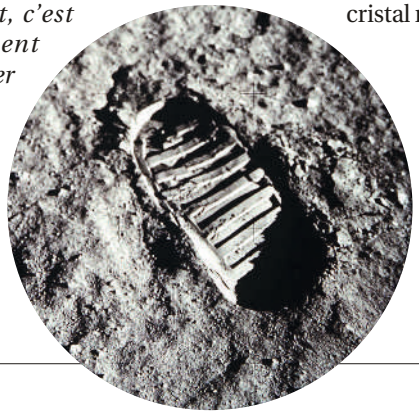
POURQUOI

croire n'est pas savoir ?

Forteresse de la connaissance et des faits vérifiés, la science est traditionnellement opposée à la croyance, reléguée aux informations fausses ou au domaine de la foi. Pourtant, la croyance joue un rôle crucial dans la progression du savoir scientifique.

La Terre est plate. L'humain n'aurait en réalité jamais marché sur la Lune. Les *fake news* semblent se répandre comme une traînée de poudre et prendre de l'ampleur. Pourtant, en parallèle, la science ne cesse de progresser dans ces mêmes domaines : le télescope EHT vient de photographier le trou noir au centre de notre galaxie, des chercheurs sont parvenus à faire pousser des plantes dans de la poussière lunaire. Si les *fake news* sont associées à des croyances, par opposition au savoir, la ligne de démarcation entre ce qui a été prouvé et ce qui ne l'est pas s'avère en réalité moins nette que cela.

« *Les platistes et autres adeptes des* fake news *présentent leurs théories comme des connaissances. Ils estiment que ce qu'ils avancent est vrai et justifié. Évidemment, c'est faux. Mais comment fait-on pour résister aux personnes qui soutiennent dur comme fer que la Terre est plate ?* », s'interroge Max Kistler, professeur à l'université Paris-I Panthéon-Sorbonne et membre de l'IHPST (Institut d'histoire et de philosophie des sciences et des techniques). Selon la définition classique, la connaissance est une croyance vraie et justifiée. C'est ainsi qu'elle est présentée par Platon dans le *Ménon*. Pour acquérir une connaissance, il faut d'abord croire en quelque chose puis réussir à démontrer que sa croyance est vraie. On peut affirmer qu'il pleut quand on voit les gouttes de pluie tomber par la fenêtre. La justification est solide. En revanche, si j'écris qu'il pleut au Paraguay car je l'ai vu dans une boule de cristal — et qu'il pleut vraiment là-bas —, alors c'est juste un coup du hasard. Pour acquérir des informations vraies sur le monde, la façon de justifier doit être fiable : voir la pluie est une source fiable et la boule de cristal ne l'est pas, même si elle peut, par chance, générer une vraie information. Or, la science offre des moyens solides d'accéder à la connaissance. « *Les pratiques qui entourent la recherche, comme la collégialité, la critique des hypothèses, les protocoles, les expérimentations et leurs réfutations en font une pratique plus fiable que le rêve, la poésie ou la voyance. Même si certains rêves sont dits prémonitoires ou s'il existe une forme de vérité dans la poésie* », explique Philippe Huneman, directeur de recherche à l'IHPST.

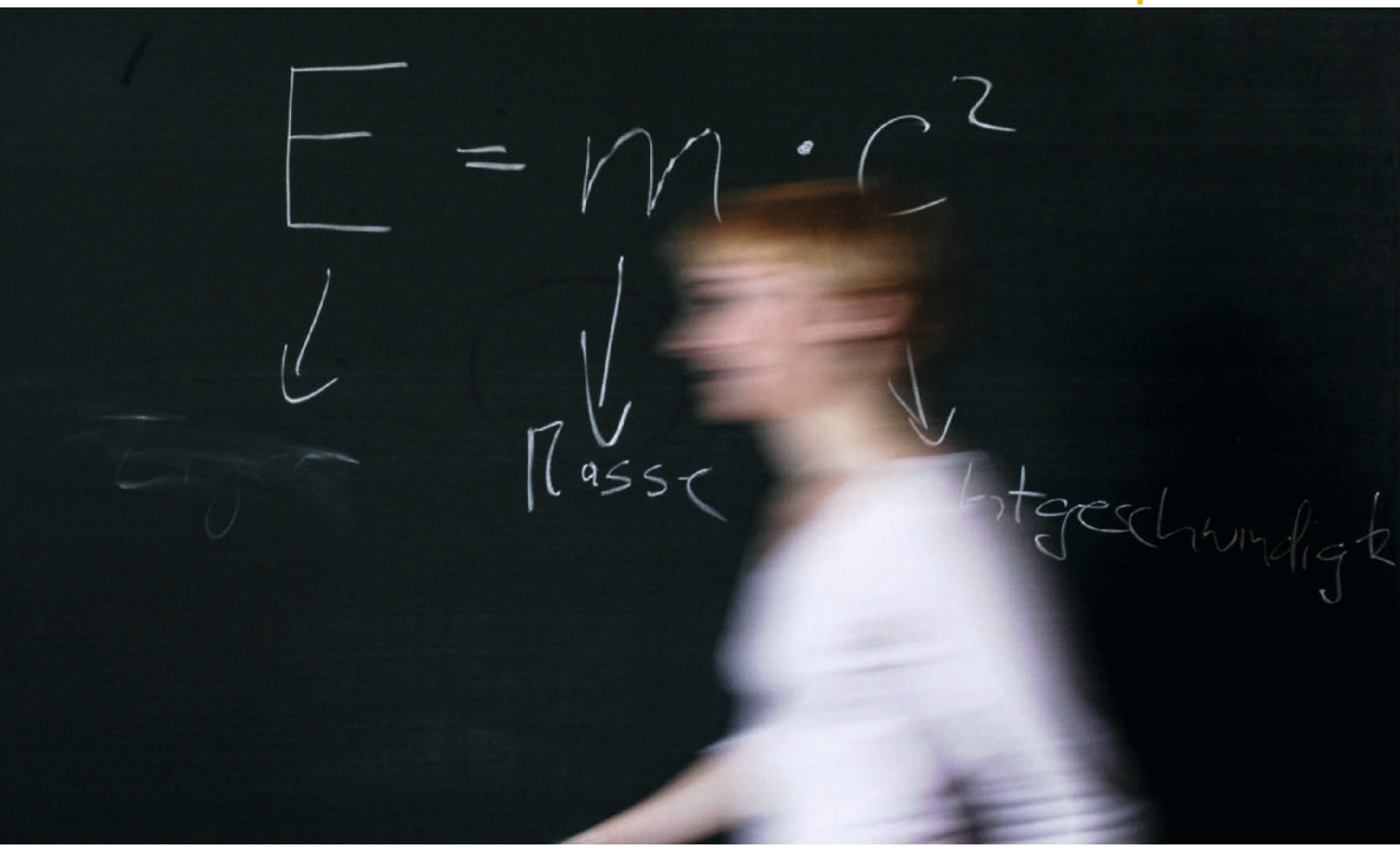


Une « fake news » prétend que l'humain n'a jamais marché sur la Lune (ici la photo du pas de Buzz Aldrin sur le sol lunaire, le 21 juillet 1969).

NASA

Les sciences restent toutefois mouvantes

S'il faut une forme de croyance pour faire avancer la science, cette notion a d'abord été largement reléguée aux sujets extérieurs au savoir. À l'époque des Lumières (XVIIIe siècle), les penseurs opposaient croyance, prise en un sens plus précis, et savoir. Croire signifiait tenir pour vrai quelque chose sans justification, tandis que le savoir était une opinion vraie et justifiée. La croyance était à cette période plutôt assimilée à la foi (le mot vient de *fides*, qui signifie confiance en latin), à une croyance sans preuves, voire à de la superstition ou à des théories irrationnelles.



AKG IMAGES

Blaise Pascal (1623-1662), philosophe et mathématicien, inventeur de la première machine à calculer, a aussi beaucoup réfléchi à la foi religieuse. « *Contrairement à l'ordre de la connaissance, qui s'applique aux mathématiques par exemple, Pascal estime que la croyance, et donc la foi en Dieu, n'a rien à voir avec le savoir. Elle est de l'ordre de l'amour,* explique Philippe Huneman. *Le cœur lui tient lieu de fondement et, en cela, elle n'a pas besoin de preuves : "le cœur a ses raisons que la raison ne connaît pas", cette pensée pascalienne célèbre dit exactement cela.* » Dans ce prolongement, un siècle plus tard, Emmanuel Kant (1724-1804) admet qu'il existe des questions qu'on ne peut pas résoudre, comme l'origine de l'Univers, l'existence de l'âme ou celle de Dieu. « *J'ai dû limiter le savoir pour laisser place à la foi* », écrit-il dans *Critique de la raison pure*. Malgré leurs moyens robustes pour accéder au savoir, les sciences restent toutefois mouvantes. Les théories scientifiques se renouvellent sans cesse au gré des observations et découvertes. « *Les preuves irréfutables existent seulement en mathématiques où se trouvent des bases acceptées par convention. Une fois qu'on a les axiomes, on peut prouver des théorèmes. Ce n'est pas le cas dans les autres disciplines* », explique Max Kistler. La physique classique newtonienne a par exemple longtemps été considérée comme définitive. Isaac Newton (1642-1727), qui a découvert la gravité en voyant une pomme tomber dans son jardin, a formulé la théorie de la gravitation, capable d'expliquer les mouvements des corps sur Terre.

Mais en 1905, Albert Einstein est parvenu, dans sa théorie de la relativité générale, à surpasser Isaac Newton. « *L'histoire des sciences nous dit que c'est Einstein qui a raison, et non Newton ou Aristote avant lui, mais c'est parce que sa théorie est meilleure que celles formulées auparavant* », poursuit Max Kistler. Un jour peut-être, quelqu'un trouvera mieux qu'Albert Einstein. « *Cela rend très humble car les théories de Newton ont longtemps été considérées comme immuables. Or, un retournement de situation peut toujours survenir. Les théories scientifiques restent des hypothèses dont on ne sera jamais absolument sûrs.* » Au même titre que la croyance, le doute fait partie intégrante de l'esprit des sciences.

Finalement, quelle différence entre une connaissance scientifique perfectible — qui ne restera en vigueur qu'un moment — et une pseudo-information ? Tout réside dans la justification, plus précisément la qualité de la justification. « *Un platiste va donner des raisons pour lesquelles la Terre est plate. Mais elles seront moins bonnes que celles données pour expliquer que la Terre est ronde. Pour départager le vrai du faux, on peut très facilement s'appuyer sur*

MAX KISTLER

« Pour départager le vrai du faux, on peut très facilement s'appuyer sur l'expérimentation et l'observation »

Max Kistler, professeur de philosophie à l'université Paris-I Panthéon-Sorbonne

l'expérimentation et l'observation », nuance Max Kistler. Il « suffirait » par exemple de prendre un bateau et d'aller sans cesse au bout de l'horizon pour constater que le navire ne tombera pas dans le néant mais reviendra à son point initial. C'est ainsi que la science bénéficie d'une meilleure justification que les *fake news*, même si les discours de leurs adeptes semblent parfois bien construits. *« Il suffit d'inventer assez d'hypothèses* ad hoc *pour qu'une argumentation devienne cohérente, qu'on lui trouve une certaine logique. Mais cela ne la rend pas vraie pour autant. Les platistes argueront ainsi que les photos prises de la Terre depuis l'espace ne sont que des photomontages.* »

La nature de nos croyances en dit beaucoup sur nous-mêmes

Avec ses modes de justification sans cesse améliorés et ses théories renouvelées, la science se pose en institution garante de la connaissance. Elle est un moyen fiable d'obtenir des informations sur le monde. C'est elle qui tranche entre une croyance fausse et une croyance vérifiée qui devient une connaissance. C'est ainsi que la nature de nos croyances en dit beaucoup sur nous-mêmes. *« Dire "je crois qu'il fait beau" et "je pense qu'il fait beau", c'est pareil. Cela veut dire : je crois que c'est comme ça,* souligne Jean-Baptiste Rauzy, professeur à Sorbonne Université, spécialiste de la philosophie de la connaissance et de l'esprit. *La somme de nos croyances fait une sorte d'autoportrait de nous. Si je n'avais pas cette croyance, je serais un autre.* » À l'origine des contours de notre identité, de la connaissance et de la science en tant que discipline de recherche, les croyances nous permettent de sonder le monde qui nous entoure. À nous de tester leur solidité, afin de discriminer le vrai du faux. ■

Coralie Lemke
@CoralieLemke

PHYSIOLOGIE

POURQUOI vieillit-on ?

GETTY IMAGES

Renversons la question et demandons-nous plutôt : pouvons-nous ne pas vieillir ? Car même la plus imputrescible des choses se dégrade au fil du temps, au contact de l'air et de l'environnement. Il reste qu'un organisme vivant est formé de cellules capables de se renouveler. Pourquoi cette capacité s'épuise-t-elle au bout d'un temps qui semble programmatique (la souris vit en moyenne deux ans, le chien treize ans, l'être humain dépasse rarement le siècle) ? Il existe donc des mécanismes internes qui déterminent en fonction de l'espèce sa longévité. Le premier d'entre eux est une loi du vivant quasi immuable : plus une espèce est grande, plus sa durée de vie est longue, car un animal massif met plus de temps à atteindre sa taille adulte et donc le moment où il sera apte à se reproduire. Passé ce cap, les garde-fous physiologiques semblent moins performants pour maintenir l'individu en vie. Pour la mère, l'énergie nécessaire à la grossesse et à l'allaitement mobilisera les ressources dépensées pour sa survie. Plus généralement, une fois l'objectif de l'individu atteint — concevoir —, maintenir en activité des systèmes biologiques coûteux en énergie est moins nécessaire. Ceux-ci s'inactivent alors progressivement. Mais si les grosses espèces animales vivent plus longtemps que les petites, au sein d'une espèce donnée, les petits individus vivent plus longtemps. Aux mécanismes physiologiques permettant à l'animal d'atteindre sa taille adulte se confrontent des réalités physiques : un individu plus massif ou plus grand, ne serait-ce que d'un centimètre, possède un million de cellules supplémentaires. C'est d'autant plus de risques d'y voir naître une tumeur par exemple, ou un problème cardio-vasculaire. ■

Hervé Ratel

L'ÉNIGME DE L'EXPERTE

Pourquoi rêve-t-on ?

Seule certitude : la réponse est multiple. La neurologue Isabelle Arnulf détaille les différentes fonctions cognitives associées aux rêves.

« Le rêve est une activité cognitive à part entière qui remplit plusieurs fonctions. Nos recherches ont montré qu'il participe par exemple à la mémorisation. Lorsqu'on apprend un texte par cœur à 60 % et qu'on s'endort dessus, on se souviendra d'environ 80 %. Nous avons fait l'expérience en observant les personnes qui parlent en dormant : elles ont tendance à répéter, durant leur rêve, non pas le texte lui-même, mais certains éléments comme si elles étaient en train de ranger les nouvelles informations dans leur cerveau.

Mais ce qui ressort des milliers de rêves analysés ces dernières années, c'est que deux tiers d'entre eux sont faits d'émotions négatives. En 2018, nous avons montré que les trois mots les plus récurrents chez ceux qui parlent en rêvant étaient : « non », « putain » et « merde »…

L'une des hypothèses est que les rêves serviraient à simuler différentes menaces de façon à s'entraîner face à des situations de danger. Cette théorie a été notamment explorée par l'analyse des rêves de mamans venant d'accoucher : beaucoup rêvent de bébés qui tombent du lit, et parfois même tendent les bras comme pour les rattraper. Autre exemple avec des étudiants en médecine qui ont livré des récits de rêves négatifs : retard à l'examen, crise d'appendicite, QCM mal remplis… Or ceux qui ont rêvé d'échec ont obtenu une note supérieure d'un demi-point par rapport aux autres, soit environ 100 places au concours.

Les rêves seraient aussi très utiles pour traiter les émotions de la journée, les trier et mieux éliminer les sentiments négatifs. Le cerveau applique le principe de la digestion à la mémoire émotionnelle. Le cauchemar est la faillite de ce système. Cette théorie a été étayée en étudiant les rêves de personnes qui venaient de divorcer : celles qui ont le mieux vécu la séparation sont celles qui avaient le plus rêvé de leur ex-conjoint !

Le rêve pourrait aussi servir à développer l'empathie, cette capacité à se mettre à la place des autres : ainsi, nous avons montré que les personnes paralysées depuis la naissance marchaient en rêve, sans doute à force d'observer les personnes valides et de se mettre à leur place.

Enfin le rêve constitue un espace virtuel non contraint qui permet de développer et tester de nouvelles associations d'idées et donc notre créativité. De nombreux scientifiques et artistes rapportent avoir fait des découvertes en rêve, et nous avons montré récemment que la seule période d'endormissement suffit à tripler nos chances de trouver la solution d'un problème mathématique. » ■

Propos recueillis par Hugo Jalinière

@hugojaliniere

Cheffe du service des pathologies du sommeil à la Pitié-Salpêtrière, à Paris, Isabelle Arnulf est également chercheuse à l'Institut du cerveau.

PATRICE NORMAND/ LEEXTRA

Partenariat SCIENCES AVENIR La Recherche

L'Agence nationale de la recherche (ANR) et le festival d'Avignon organisent la 9e édition des Rencontres recherche et création les 11 et 12 juillet 2022 en partenariat avec *Sciences et Avenir-La Recherche* sur le thème « Contes, mondes et récits », auxquelles participe Isabelle Arnulf. Programme et inscriptions : **www.recherche-creation-avignon.fr**

Un numéro spécial été

Et

Et si Trump était réélu

Et si Poutine appuyait sur le bouton

Et si une nouvelle pandémie débarquait

Et si une vague migratoire africaine déferlait sur l'Europe

Et si la France rattrapait l'Allemagne

Et si les salaires variables et les stock-options disparaissaient

Et si les Gafa étaient démantelés

Et si une tempête solaire provoquait un "black-out"

Et si des hackers mettaient par terre nos infrastructures vitales

Et si le quantique supplantait la crypto

Et si le premier bébé immortel était déjà né

Et si l'on arrêtait de manger de la viande

Et si l'énergie était rationnée

30 SCÉNARIOS DE RUPTURE DANS

en vente dès le 30 juin

Si...

Et si la Chine attaquait Taïwan

Et si les taxis volaient

Et si le revenu universel était généralisé

Et si tous les travailleurs codaient

Et si une vague de chaleur mortelle frappait l'Inde

Et si les mémos des PDG étaient clairs et honnêtes

Et si une colonie de primates vivait sur la Lune

Et si le Prix Nobel était attribué à l'IA

Et si l'alimentation de chacun était personnalisée

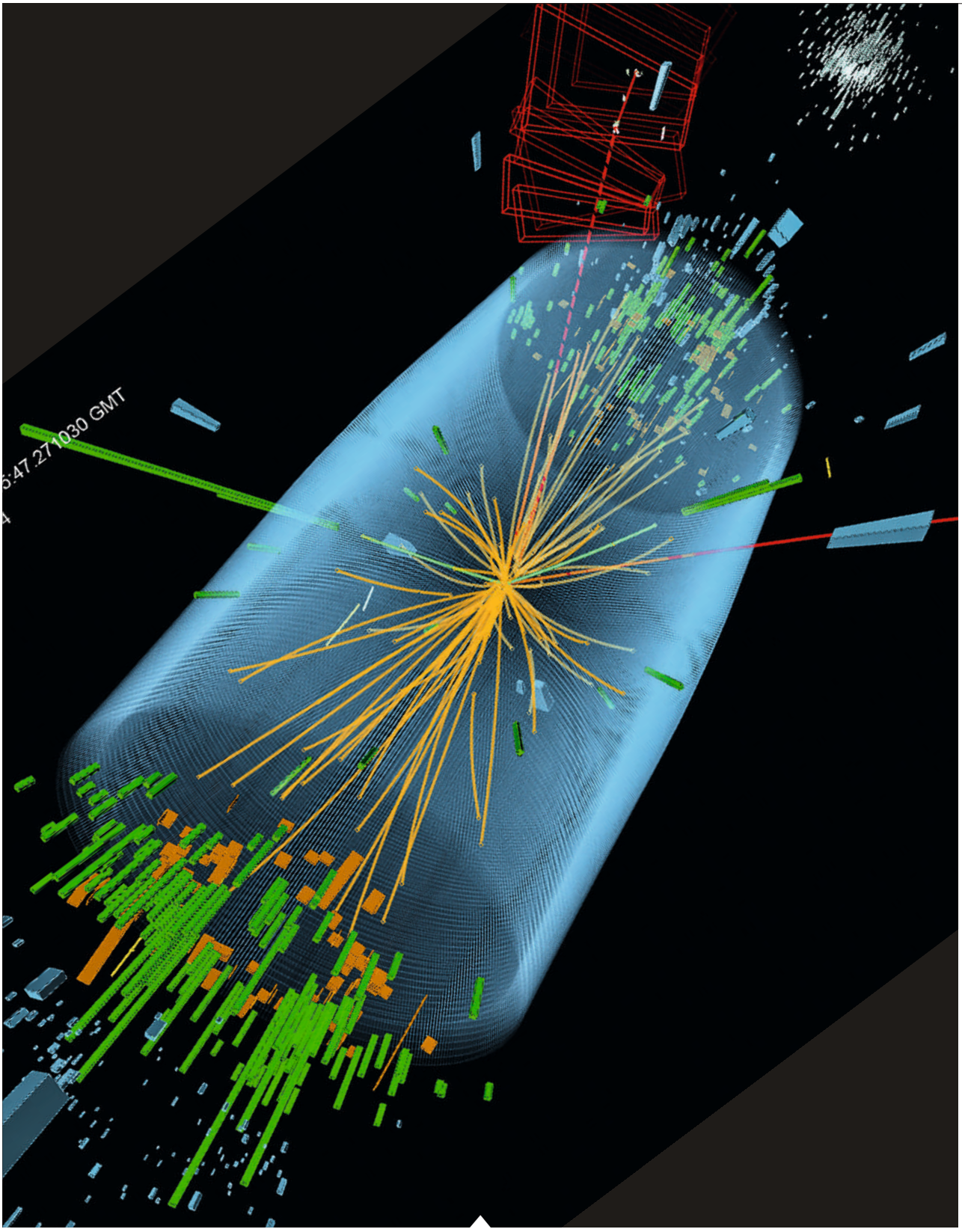
Et si toutes les émissions de carbone étaient tracées

Et si la Chine accaparait le marché du cobalt

Et si des pirates prenaient Kourou

Et si Facebook était désactivé...

Challenges AVEC The Economist



2012 CERN, FOR THE BENEFIT OF THE CMS COLLABORATION

La collision entre deux protons (en jaune au centre de l'image) dans le détecteur CMS au grand collisionneur de hadrons (LHC) du Cern a engendré un boson de Higgs qui s'est désintégré en deux photons (lignes vertes).

Boson de Higgs
Dix ans de mystères

Le 4 juillet 2012, l'insaisissable particule prédite depuis 1964 était enfin observée dans le grand collisionneur de hadrons (LHC) du Cern, à Genève. Ce boson serait indispensable pour donner leur masse aux particules composant la matière. Mais dix ans plus tard, force est de constater que sa découverte n'a pas permis de percer tous les mystères du modèle standard de la physique.

Par Fabrice Nicot @ fnicot07

« *Je crois que nous l'avons.* » Le directeur général du Cern, à Genève, Rolf-Dieter Heuer, officialise ainsi le 4 juillet 2012 la nouvelle qui bruissait depuis des mois. Le fameux boson de Higgs, « *la particule de Dieu* » comme l'avait surnommée avec emphase le prix Nobel de physique américain Leon Lederman, a finalement été piégé par deux détecteurs du LHC, Atlas et CMS. Dans l'amphithéâtre comble, les regards se tournent vers un homme de 83 ans en chemise blanche qui essuie ses lunettes embuées de larmes. Il s'agit du physicien britannique Peter Higgs. Avec ses collègues l'Américain Robert Brout (décédé en 2011) et le Belge François Englert, il avait imaginé l'existence de cette particule… en 1964 ! Elle était, selon eux, indispensable pour donner leur masse aux particules composant la matière *(lire l'encadré p. 70)*.

Pour le modèle standard de la physique des particules, qui décrit l'ensemble des particules, c'est un triomphe… Et le début d'un nouveau chapitre. Cédric Delaunay, physicien au Laboratoire d'Annecy-le-Vieux de physique théorique (LAPTh, Haute-Savoie), était alors post-doctorant au Cern. Il se souvient. « *Il était impossible d'entrer dans l'amphi, alors j'avais suivi l'annonce en ligne. Ensuite, nous nous sommes retrouvés dans les couloirs pour encaisser le choc. Les sentiments étaient mêlés. Pour les expérimentateurs, c'était la fin d'une quête, un aboutissement. Nous autres théoriciens étions plu-*

tôt dans une certaine stupeur. Car les caractéristiques du boson collaient très bien aux prévisions du modèle standard. Trop bien même. Ce qui fait qu'il héritait aussi de tous ses problèmes. » Nicolas Berger, physicien au LAPTh et qui travaillait alors sur l'expérience Atlas, a effectivement vécu l'événement différemment. *« Adolescent, je me passionnais déjà pour le boson de Higgs. Alors participer à sa découverte a été un moment de joie intense. Nous savions que les théoriciens espéraient un boson plus exotique, mais cette découverte n'était qu'un début, car nous n'avions finalement que peu d'informations sur ce boson… »*

Ce boson « trop sage » n'ouvrait donc pas immédiatement la voie vers une nouvelle physique au-delà du modèle standard. Une nécessité pourtant. Ce modèle est certes assez robuste pour décrire avec précision le comportement des particules élémentaires et leurs interactions. Seulement, elles ne représentent qu'environ 5 % du total de toute la matière et de l'énergie contenues dans l'Univers. Aucune ne correspond à la matière noire (25 %), ni à l'énergie noire responsable de l'accélération de l'expansion de l'Univers (70 %). Le modèle standard n'explique pas non plus la disparition de l'antimatière alors que nous devrions en observer autant que de matière. Dix ans plus tard, force est de constater que la découverte du boson de Higgs n'a pas permis de percer tous les mystères du modèle standard.

CÉDRIC DELAUNAY

« Les caractéristiques du boson collaient très bien aux prévisions du modèle standard, trop bien même »

Cédric Delaunay, physicien au Laboratoire d'Annecy-le-Vieux de physique théorique

Des superparticules pour prolonger le modèle standard

Pour tenter de répondre à ces questions, les chercheurs ont dû aller encore plus loin en imaginant un prolongement à ce modèle, une physique au-delà de celui-ci. Parmi diverses théories, la supersymétrie envisage l'existence de nouvelles particules, éventuellement de masses très supérieures à celles connues. Ces superparticules seraient porteuses d'une nouvelle physique, avec pourquoi pas des interactions inédites, capables d'éclairer les zones laissées dans l'ombre par le modèle standard. Seulement, plus une particule est massive et plus elle est difficile à produire dans les détecteurs car il faut concentrer beaucoup d'énergie pour lui donner corps, conséquence du fameux E (énergie) = m (masse) × c² (carré de la vitesse de la lumière). Jusqu'à présent, les collisionneurs n'auraient donc pas eu la capacité de les faire jaillir, ou bien elles seraient passées au travers des détecteurs. Sans doute faut-il les chercher à des masses plus grandes encore, et c'est là que le boson de Higgs commence à poser un problème…

Les difficultés se nichent dans les fluctuations quantiques du vide. Le vide, au niveau de la physique quantique et de l'infiniment petit, ne l'est qu'en moyenne. En réalité, il est sans cesse agité par des particules qui apparaissent et disparaissent, telle une écume à la

MESURES

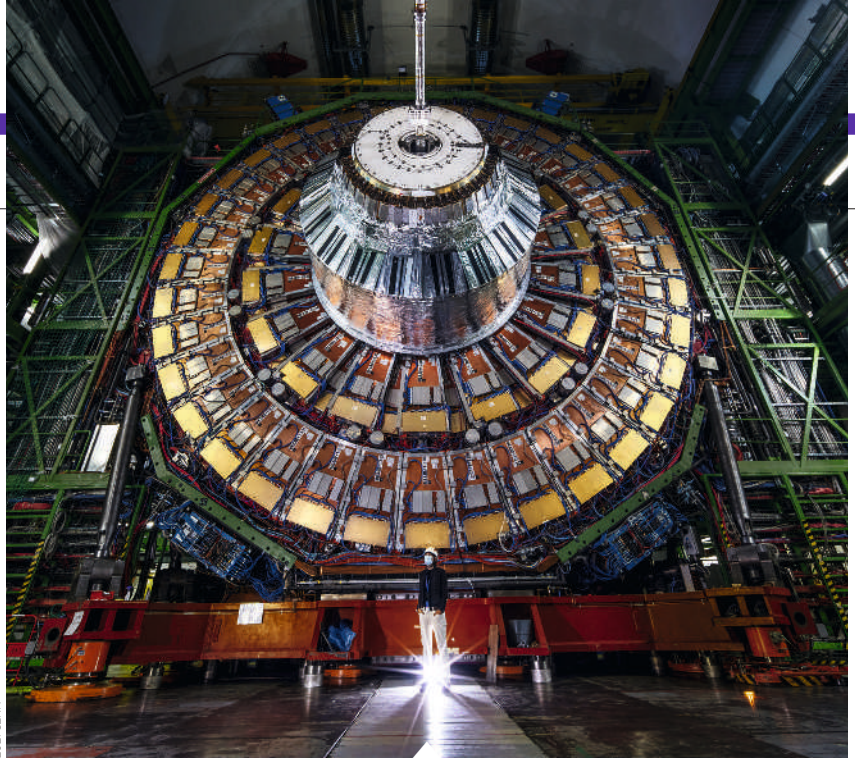
Comment le boson de Higgs donne-t-il leur masse aux particules ?

Certaines particules demandent plus d'énergie que d'autres pour être mises en mouvement. Tout comme il est plus difficile de déplacer une armoire normande qu'un guéridon. Cela tient à leur masse bien sûr, dite inertielle.

L'ennui, c'est que contrairement au mobilier, les masses des particules ne peuvent s'expliquer par leur taille ou leur composition. Ce sont des particules élémentaires, elles ne sont pas faites de matière, elles la constituent. Et elles sont si petites qu'il n'est pas vraiment pertinent de parler de taille les concernant.

Pourtant, le muon par exemple possède les mêmes caractéristiques que l'électron, mais il est environ 207 fois plus massif que lui!

Peter Higgs, François Englert et Roger Brout proposent donc une explication à la masse inertielle des particules élémentaires en imaginant qu'elles baignent dans un champ de Higgs. Tout se passe alors comme si une balle de ping-pong se déplaçait dans du miel. La viscosité du miel s'opposant à son déplacement, la balle paraît plus massive que dans l'air. De la même façon, les particules se déplaçant dans le champ de Higgs interagissent avec lui. Mais à la différence du miel, la « viscosité » du champ de Higgs varie en fonction de la particule, conférant à chacune une masse propre. Le champ de Higgs freine ainsi bien plus le muon que l'électron. En revanche, il n'a aucune action sur le photon dont on dit alors qu'il n'a pas de masse.



2021 CERN

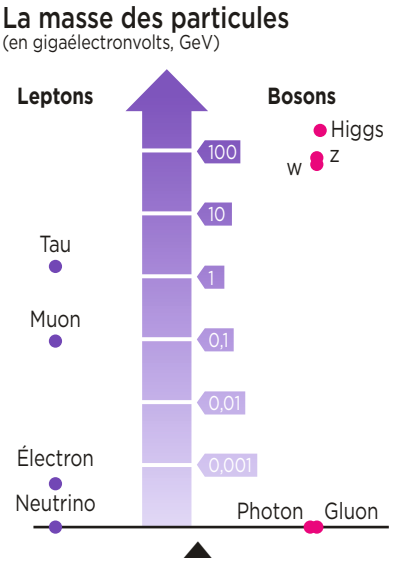
Le détecteur CMS installé sur l'anneau du LHC du Cern, à Genève, a permis de mesurer la masse du boson de Higgs avec une précision d'environ 0,1 %.

surface d'une mer déchaînée. Ces particules éphémères interagissent avec les autres plus pérennes et modifient leurs propriétés. « *S'il existe des particules lourdes au-delà du modèle standard, elles contribuent forcément à ces fluctuations quantiques du vide,* explique Cédric Delaunay. *Elles interagissent donc avec le boson de Higgs. Mais dans ce cas, celui-ci devrait subir une importante correction de sa masse en retour. Sinon, ce serait comme si un tsunami ne faisait pas tanguer une barque.* »

Cette difficulté, résumée sous le terme de problème de hiérarchie, constitue la principale énigme posée par la masse du boson de Higgs. Olcyr Sumensari, physicien théoricien au sein du Laboratoire de physique des deux infinis Irène-Joliot-Curie (IJCLab), à Orsay (Essonne), confirme : « *La physique est caractérisée par la séparation d'échelles. Pour expliquer le mouvement d'une voiture, je n'ai pas besoin de la théorie de la relativité. Et d'une manière générale, nous n'avons pas besoin de la physique des hautes énergies pour comprendre la physique de basse énergie. Sauf dans le cas de ce boson de Higgs.* »

Ce problème prend des proportions considérables lorsque l'on songe que la valeur dans le vide du champ de Higgs (qui est au boson ce que l'océan est à la molécule d'eau) est responsable de la masse de toutes les particules connues. « *Déstabilisé par les particules plus massives, le champ de Higgs devrait avoir une valeur plus importante, et toutes les particules s'alourdir,* remarque Cédric Delaunay. *Avec des conséquences surprenantes. Par exemple, nous n'aurions jamais dû pouvoir observer les plus massives d'entre elles avec nos détecteurs : le boson W, le boson Z… Je me demande même si les atomes auraient pu se former car les réactions nucléaires entre protons et neutrons qui composent les noyaux seraient aussi changées.* »

BRUNO BOURGEOIS



Les particules ont des masses très différentes déterminées par leur interaction avec le boson de Higgs, selon un mécanisme encore mal compris.

Évidemment, la solution la plus simple serait d'admettre qu'il n'y a pas de nouvelle physique au-delà du modèle standard. Mais alors, comment combler ses failles actuelles ? Sans compter que d'autres indices plaident pour une liste des particules encore incomplète. On peut citer notamment l'anomalie du muon, ce cousin de l'électron 200 fois plus massif. En avril 2021, l'expérience Muon g-2, qui se déroule au Fermilab, près de Chicago (États-Unis), a mesuré son moment magnétique *(lire* Sciences et Avenir – La Recherche *n° 893/894, juillet-août 2021)*. Selon un article paru en avril 2021 dans *Physical Review Letters*, il ne correspondrait pas à ce que la théorie issue du modèle standard indique, même si ce point est actuellement discuté. « *Pour calculer son moment magnétique, toutes les interactions avec des particules connues ont été envisagées. Si cet écart entre la théorie et la mesure était définitif, alors les perturbations viendraient nécessairement de particules inconnues* », déduit Olcyr Sumensari.

Le redémarrage du LHC va permettre d'en savoir plus

Enfin, d'autres questions se posent concernant la particule elle-même. Pour Cédric Delaunay, « *nous ignorons encore la façon précise dont le boson de Higgs agit pour donner leurs masses aux particules. Nous le savons à peu près sur les particules les plus lourdes, mais pas vraiment sur les plus légères, comme l'électron par exemple.* » Dans ce dernier cas, les expériences sont en effet difficiles à mettre au point. Le redémarrage du LHC cet été devrait répondre en partie à ces questions, comme le précise Nicolas Berger : « *L'étude des caractéristiques du boson de Higgs figure parmi les priorités du LHC. Nous découvrirons peut-être qu'il n'est pas si "standard" que ça.* » ■

Malgré ses 16 tonnes, le voilier décolle d'un bon mètre au-dessus de l'eau grâce aux foils, dont la surface a été multipliée par deux par rapport à ceux de la précédente génération.

EASY RIDE / BPCE

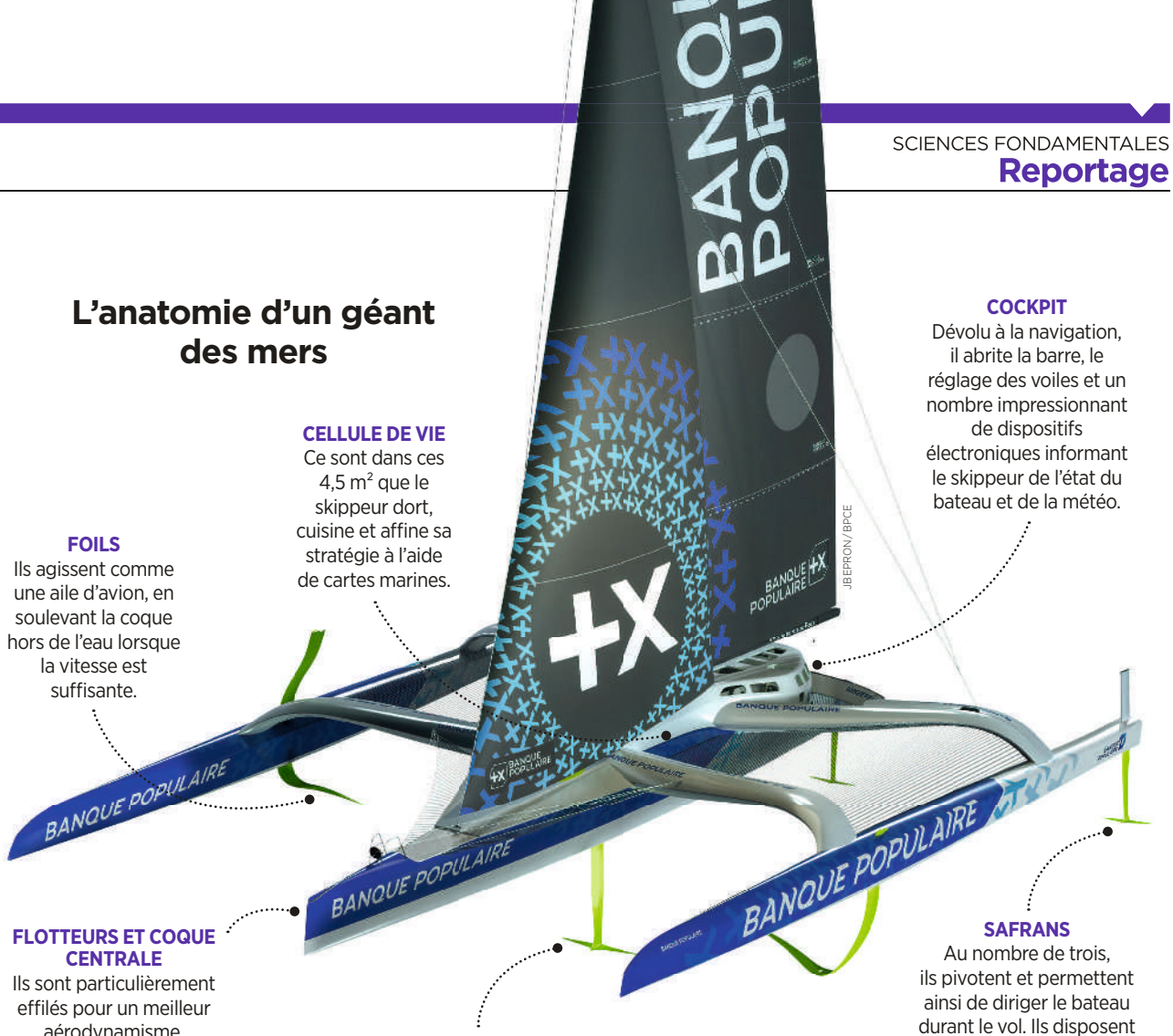
La course au large, une affaire d'ingénieurs

À six mois du départ de la Route du Rhum, début novembre, nous avons pu naviguer à bord de l'un des favoris de cette course transatlantique, le maxi-trimaran « Banque Populaire XI ». L'occasion de découvrir les dessous d'un des voiliers les plus rapides du monde.

Que ressent-on à bord d'un voilier de 32 mètres de long filant à près 70 km/h sur une mer légèrement formée ? La force du vent engendré par la vitesse, l'humidité des embruns lorsque la houle frappe la coque… Mais ce qui domine, c'est la sensation de glisser entre ciel et mer, presque sans à-coups, en silence. Car le navire vole, porté par ces appendices, six en tout dont deux impressionnants foils. À bord, le skippeur Armel Le Cléac'h étudie avec son équipe technique les réactions de l'un des bateaux les plus rapides du monde. Et lorsqu'il vous confie un instant la barre, c'est l'occasion de réaliser à quel point le trimaran répond avec précision et rapidité au moindre changement de cap. Le piloter est un jeu d'enfant, en apparence…

Quatre ans après le chavirage spectaculaire de *Banque Populaire IX (BP IX)* lors de la précédente Route du Rhum, entre Saint-Malo et la Guadeloupe, voici donc son successeur officiel (*BP X* étant, lui, un monocoque). Construit en 24 mois à Lorient, *BP XI* s'appuie comme le précédent sur la technologie des foils pour « décoller ». Ceux-ci fonctionnent à la manière d'une aile d'avion. La partie horizontale immergée, le tip, assure la portance. Avec la vitesse, une dépression se crée sur sa partie supérieure,

L'anatomie d'un géant des mers



FOILS
Ils agissent comme une aile d'avion, en soulevant la coque hors de l'eau lorsque la vitesse est suffisante.

CELLULE DE VIE
Ce sont dans ces 4,5 m² que le skippeur dort, cuisine et affine sa stratégie à l'aide de cartes marines.

COCKPIT
Dévolu à la navigation, il abrite la barre, le réglage des voiles et un nombre impressionnant de dispositifs électroniques informant le skippeur de l'état du bateau et de la météo.

FLOTTEURS ET COQUE CENTRALE
Ils sont particulièrement effilés pour un meilleur aérodynamisme.

DÉRIVE CENTRALE
Elle favorise le décollage de la coque centrale et contribue à la stabilité en vol.

SAFRANS
Au nombre de trois, ils pivotent et permettent ainsi de diriger le bateau durant le vol. Ils disposent en plus d'un plan porteur en T qui facilite le décollage et assure la stabilité.

ce qui engendre en réaction une poussée du bas vers le haut qui soulève les 16 tonnes du navire d'un bon mètre au-dessus de l'eau. Le bateau « vole » toujours sur un seul foil, celui sous le vent. Il s'appuie aussi sur deux plans porteurs au niveau des safrans (gouvernail) à l'arrière, et sur sa dérive centrale *(voir l'illustration ci-dessus)*. Il a toujours ainsi quatre points de contact avec l'eau qui assurent sa stabilité. Leur surface totale ne dépasse pas 5 m². Bien moins que le trimaran entier, se composant d'une coque centrale et de deux flotteurs, de 32 mètres de long, l'ensemble s'étalant sur 23 mètres de large. La traînée hydrodynamique qui s'oppose au mouvement du bateau est donc considérablement réduite. *BP XI* peut ainsi approcher les 50 nœuds, soit 90 km/h, uniquement grâce à des voiles d'une surface totale de 760 m² par vent arrière.

Utilisé pour la première fois en compétition lors du Vendée Globe de 2016, le principe des foils ne cesse d'être amélioré, et *BP XI* marque une nouvelle étape, comme le détaille Pierre-Emmanuel Hérissé, *alias* P.-E., directeur technique de l'équipe : *« Nous avons franchi un seuil avec des foils qui ont beaucoup plus d'envergure. Leur surface a été multipliée par deux par rapport à* BP IX. *Ils "portent" davantage le bateau et le font voler plus haut. Cela nous a apporté un gain énorme en stabilité. »* Le secret de ces foils, dessinés par le cabinet d'architecture navale français VPLP, réside dans la conjugaison de plusieurs facteurs arrivés à maturité, comme le résume P.-E. : *« Le retour d'expérience du précédent navire, le dessin des structures avec l'outil numérique, et enfin de nouveaux procédés de fabrication qui permettent de réaliser des pièces autrefois impossibles. Ainsi, la capacité de coller les couches de fibres de carbone les unes par rapport aux autres sous vide avec une pression calibrée donne un meilleur compactage, et finalement une qualité de matériaux composites supérieure à ce qu'on avait par le passé. »* Voilà de quoi façonner des appendices de plus en plus grands et résistants.

Mais l'hydrodynamisme n'est qu'une des clés des performances du navire. L'autre aspect fondamental est l'électronique. Le trimaran est littéralement

truffé de capteurs, une centaine en tout, qui le scannent dix fois par seconde. De quoi générer 1,2 gigaoctet de données en vingt-quatre heures de navigation. *« Nous mesurons la vitesse du vent, mais aussi l'attitude de bateau (vitesse, accélérations dans toutes les directions, angle d'inclinaison),* explique Clément Duraffourg, ingénieur en charge de l'acquisition de données et de la performance du bateau. *Nous scrutons la plateforme : la charge dans le gréement, les voiles, les câbles. Les positions des six appendices. Notre objectif est de connaître à tout moment non seulement l'état du bateau, mais aussi son "potentiel vitesse". Autrement dit de pouvoir répondre à la question : à quelle allure maximale peut-il aller en fonction des conditions de météo et de mer données, sans risquer l'avarie ?* » Par ailleurs, 120 mètres de fibres optiques courent dans toute la structure pour mesurer ses déformations, ses contraintes afin d'anticiper la survenue de points de rupture. Toutes ces informations serviront lors des entraînements pour nourrir l'expérience du skippeur qui, une fois en course, pourra choisir ses stratégies de route en fonction du « potentiel vitesse » du bateau.

Plus proche de la voiture de rallye que de la formule 1

Contrairement à ce que l'on pourrait penser, la vitesse de pointe n'est pas l'obsession des concepteurs de *BP XI*. *« L'image d'une "formule 1 des mers" revient souvent, mais elle est fausse. Nous sommes plus proches de la voiture de rallye, ne cherchant pas la vitesse pure mais plutôt la résistance et la stabilité,* résume Maël Devoldere, directeur du bureau d'études de l'équipe Banque Populaire. *Le but n'est pas de marcher à 50 nœuds entre l'île de Groix et Belle-Île, mais d'atteindre des vitesses moyennes les plus élevées possible en haute mer…* » Sachant que la vitesse donne aussi la stabilité, puisque le navire vole au-dessus de la houle. Mais jusqu'à une certaine limite.

Forte des leçons de *BP IX*, dont la coque s'est disloquée à la suite d'une probable collision, l'équipe a renforcé la structure des bras reliant les flotteurs à la coque centrale. Ce gain en résistance se paye par plus de poids, donc moins de vitesse. Le navire embarque aussi cinq caméras, dont deux thermiques pour détecter la présence d'ofnis (objets flottants non identifiés), ainsi qu'un émetteur d'ultrasons placé dans la dérive afin d'éloigner les mammifères marins…

En ce moment, l'équipe peaufine le navire, notamment son aérodynamisme. Avec l'espoir que *BP XI* apporte à son skipper une première victoire dans cette course en solitaire. Dans la catégorie des Ultim (les navires de 32 mètres), ils sont pour l'instant huit inscrits. Et si celui d'Armel Le Cléac'h est le plus récent, avec le *SVR-Lazartigue* de François Gabart, tous ces trimarans se ressemblent quand même beaucoup. Une manière de rappeler qu'en course, le destin de *BP XI* dépendra uniquement de son skippeur. ■

Fabrice Nicot
@fnicot07

ARMEL LE CLÉAC'H DÉTENTEUR DU RECORD DU TOUR DU MONDE À LA VOILE EN 2016-2017

« Il faut davantage accompagner les étudiants sportifs de haut niveau »

« J'ai toujours aimé la science et la technologie. Après un bac S, je me suis inscrit en maths sup à Lorient. Je faisais déjà beaucoup de compétitions en voile mais il n'était pas question d'en vivre. Les grands marins, les Poupon, Arthaud, Peyron, c'était l'exception. Je voulais donc devenir ingénieur mais j'ai vite compris que je devrais choisir entre la compétition à haut niveau et la réussite aux concours. J'ai quitté la prépa et intégré un IUT de mesures physiques à Lannion, puis l'Institut national des sciences appliquées (Insa) de Rennes. Cette école d'ingénieurs, qui recrute des élèves de DUT sur dossier, permet aux sportifs de suivre un cursus aménagé. Cela a été ma chance. Je pouvais pratiquer mon sport à fond sans renoncer aux études, ce qui était très rassurant. Comme ça a vite bien marché pour moi, je ne suis pas allé au bout du diplôme. Même si je l'ai finalement obtenu, bien plus tard, par la validation des acquis. Je regrette qu'en France, nous n'ayons pas encore assez cette culture d'accompagner dans l'enseignement supérieur les sportifs de haut niveau, comme c'est le cas dans le monde anglo-saxon."

Propos recueillis par F. N.

V. CURUTCHET / BPCE

Philip K. Dick, la science de l'anticipation

À l'occasion du quarantième anniversaire de la mort du célèbre auteur de science-fiction, retour sur les thématiques visionnaires d'une œuvre foisonnante inspirée par les sciences et les technologies.

L'année 2022 marque les 40 ans de la disparition de Philip K. Dick, immense écrivain américain qui a marqué d'une empreinte indélébile l'histoire de la science-fiction (SF). Quadragénaire aussi est le film *Blade Runner*, sorti en 1982 et adapté du livre *Les androïdes rêvent-ils de moutons électriques ?* signé Philip K. Dick ; la mort empêchera celui-ci de le voir terminé. Mais la faucheuse ne pourra rien contre l'aura de « PKD » : sa lecture, du point de vue des sciences, trouble par sa clairvoyance. Des réseaux sociaux au développement de l'intelligence artificielle (IA), il paraît avoir tout prévu des thèmes scientifiques et technologiques façonnant notre quotidien. Car loin d'une fresque à la *Star Wars*, Philip K. Dick est l'auteur d'un imaginaire concret, consacré à la vie de tous les jours. *« Il est possible que la science-fiction de Dick ait eu un tel succès au cinéma parce qu'elle réussissait, justement, à dévoiler ce que deviennent les usages ordinaires*

VAUGHN RIDLEY/SPORTSFILE FOR WEB SUMMIT / GETTY IMAGES

« Portrait robot » de Philip K. Dick (1928-1982). L'androïde, réalisé par la société Hanson Robotics spécialisée en intelligence artificielle, est un hommage à l'auteur.

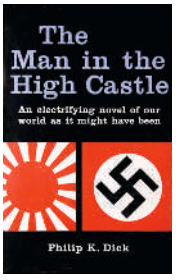
THE LADD COMPANY / SHAW BROTHERS/ COLLECTION CHRISTOPHEL

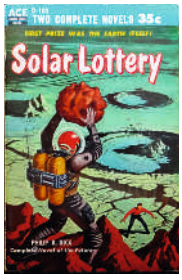
« Blade Runner » (film de 1982, tiré d'un livre de 1968) explore la question de l'intelligence artificielle « forte », proche de l'humaine.

dans les mondes futurs, là où d'autres romans mettaient plutôt l'accent sur des combats, des machines prodigieuses, des voyages dans l'espace », écrit ainsi Irène Langlet, professeure de littérature à l'université Gustave-Eiffel (Champs-sur-Marne), dans un essai disponible en ligne *(voir Pour en savoir plus)*. Revue des fulgurances de Philip K. Dick, témoignant que l'auteur mort à 53 ans avait eu le temps d'imaginer le futur.

D'Ubik à Google

Google… Comment faire sans ? Le mastodonte numérique sert à trouver des infos sur le Web, fait office de revue de presse, délivre les horaires de la prochaine séance de cinéma ou l'adresse de la pizzeria la plus proche. Il donne aussi dans la voiture autonome ou l'image satellite. Son cofondateur Larry Page finance même l'entreprise de technologie biomédicale Calico pour lutter contre le vieillissement ! Bref, Google sert à tout. Comme, avant lui, *Ubik*. Voilà *« le produit protéiforme destiné à calmer toutes les craintes et à satisfaire tous les désirs »*, selon la formule du spécialiste de la SF Gérard Klein. Tour à tour dentifrice, police d'assurance ou sauce à salade, ce produit omniscient (« ubique » signifie « partout » en latin) donne son titre au chef-d'œuvre sorti en 1969. Ce roman kaléidoscopique présente des *« mondes imbriqués, dont l'enchevêtrement fait qu'on finit par ne plus savoir dans quel univers, réel ou virtuel, on évolue »* explique Étienne Barillier, auteur du *Petit guide à trimballer de Philip K. Dick* (éditions Actu SF). *Ubik* illustre aussi la veine humoriste de l'écrivain américain quand le héros Joe Chip est en butte à l'hostilité des objets. Ainsi, sa porte d'entrée refuse — littéralement, étant dotée d'une IA — de s'ouvrir parce qu'il n'a plus de monnaie à verser dans la fente prévue à cet effet. On pense à l'Alexa d'Amazon et *« cela anticipe aussi les micro-abonnements auxquels nous sommes habitués avec les applis de nos smartphones et les plateformes de vidéo à la demande »*, reprend Étienne Barillier.





◀ **Couvertures des éditions originales** du « Maître du Haut Château » (1962, adapté en série télévisée en 2015), de « L'Œil dans le ciel » (1957) et de « Loterie solaire » (1955).

L'IA plus forte que l'humain

En apparence, rien ne permet de distinguer des êtres vivants les créatures artificielles du livre *Les androïdes rêvent-ils de moutons électriques ?* (1968). Imitant les animaux comme les humains, leur

ressemblance est parfaite. Pour savoir si hommes ou femmes sont des machines, il faut leur faire passer un test du nom de Voight-Kampff : une adaptation de celui de Turing, imaginé en 1950 par le grand scientifique britannique pour détecter l'intelligence artificielle. Un demi-siècle avant que le thème ne s'impose dans les médias, Dick explore la question de « l'IA forte » aux capacités comparables à celle d'un cerveau humain. Une perspective qui parfois réjouit, souvent effraie, mais n'est pas encore à la portée des labos. Jusqu'à quand ?

La vie contrôlée par les algorithmes

En 2018, le livre *Homo deus* de l'historien israélien Yuval Noah Harari a connu un fort engouement médiatique. Parmi les thèses du livre qui brasse les grandes théories scientifiques du moment, le fait que *« les organismes sont des algorithmes et [que] la vie se réduit à un traitement de données »*. L'idée était illustrée dès 1960 dans *Les Marteaux de Vulcain*, où la vie des individus est régulée par des algorithmes commandés par un superordinateur. *« Si la "quincaillerie" est datée — la machine fonctionne avec des bandes magnétiques —, l'idée du contrôle de notre libre arbitre par la technologie demeure pertinente »*, commente Étienne Barillier.

Les implants dans le cerveau

Le héros de *Total Recall* (1968, adapté au cinéma en 1990) ne peut pas se payer des vacances dépaysantes. Alors il se fait implanter le souvenir d'un séjour aventureux sur Mars. L'opération se passe mal et réveille une zone endormie de sa mémoire : il avait oublié son passé, réel, d'agent secret sur la planète Rouge ! Aujourd'hui, le thème des implants cérébraux n'est plus de la SF. À l'instar de ceux de Clinatec, à Grenoble, des scientifiques pensent en équiper des personnes paralysées pour contrôler par la pensée fauteuils roulants ou exosquelettes.

« Minority Report » (ici, le film de 2002) met en scène une police prédictive.

« Total Recall » (ici, le film sorti en 1990) aborde le thème des implants cérébraux.

Avatars et métavers

Dans *Le Dieu venu du Centaure* (1965), des colons terriens sur une planète lointaine ont la nostalgie de la planète Bleue, qu'un réchauffement climatique a rendue invivable. Pour pallier ce manque, ils prennent des drogues dites de *translation* qui leur permettent, en jouant avec des poupées — sortes de Barbie et Ken —, de glisser dans un monde parallèle qui leur donne l'illusion d'être revenus sur Terre. *« Le dispositif fait "toc", mais c'est une préscience du métavers à une époque où ces questions n'étaient absolument pas explorées, même dans la SF où il faut attendre les auteurs du "cyberpunk" dans les années 1980 pour voir le thème apparaître »*, commente Étienne Barillier.

La police prédictive

La police de *Rapport minoritaire* (1956, le film *Minority Report* est sorti en 2002) consulte des espèces de devins, les precogs, qui prévoient des méfaits à venir et permettent l'arrestation des coupables avant qu'ils ne passent à l'acte. Une météo du crime, en somme. En 2010, la police de Los Angeles (États-Unis) avait lancé l'expérimentation du logiciel de police prédictive Predpol, dont l'usage a été interrompu au bout de dix ans, officiellement pour raisons budgétaires dans un contexte épidémique. Le programme était censé détecter les « points chauds » d'où devaient surgir criminels et délinquants, mais il semble ne pas avoir fait preuve d'une grande efficacité.

L'humain végétal

Dans la nouvelle *Les Joueurs de flûte* publiée en 1953, des militaires stationnent sur un astéroïde. Sous le soleil, dans la paresse, un soldat devient une plante. C'est le début d'une forme d'épidémie. Dans son livre *ABC Dick*, l'essayiste Ariel Kyrou établit un frappant parallèle entre ce texte de Philip K. Dick et les analyses du philosophe Paul Virilio (1932-2018). *« Ce penseur a travaillé sur l'influence de la technologie. Selon l'une de ses thèses, les écrans génèrent une sorte de photosynthèse : le canon à photon nous transforme en plante »*, commente Ariel Kyrou. De quoi donner du grain à moudre aux contempteurs des écrans ; les autorités de santé rappellent d'ailleurs qu'il faut les interdire aux enfants de moins de 3 ans. ■

Olivier Lascar @olascar

POUR EN SAVOIR PLUS :

- Le texte d'Irène Langlet, « Des usages dans la SF littéraire » : **sciav.fr/905langlet**
- L'entretien de Yuval Noah Harari, auteur d'*Homo Deus* (Albin Michel) : **sciav.fr/905harari**
- Sur le cyberpunk, l'entretien avec Yannick Rumpala, auteur de *Cyberpunk's not dead* (Le Bélial) sur le site de *Sciences et Avenir* : **sciav.fr/905cyber**
- L'entretien audio avec Ariel Kyrou, auteur de *ABC Dick* (éditions Actu SF) : **sciav.fr/905kyrou**

COLLECTION CHRISTOPHEL

CORENTIN ESMIEU

Le « réensauvagement » peut se faire de façon naturelle ou par une intervention humaine. Ainsi, si le loup a colonisé les Alpes françaises depuis 1992, c'est en partie grâce à l'abondance de cerfs et de sangliers réintroduits à partir des années 1950 pour favoriser la chasse de loisir.

Terres sauvages

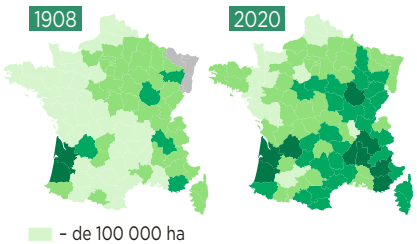
La nature à la reconquête de la France

La France vit un large mouvement de réensauvagement : les surfaces agricoles reculent, la forêt gagne du terrain et la faune s'enrichit d'espèces inédites. Mais certains veulent aller plus loin en créant de vastes espaces afin de réintroduire des herbivores comme le bison. Reportage dans la Drôme.

Par Loïc Chauveau @Loic_Chauveau

À gauche du cimetière de Saillans, dans la Drôme, grimpe un raidillon. C'est un chemin pour emprunter les pentes au pied de la montagne des Trois Becs. C'est aussi un moyen de remonter un siècle en arrière, un passé inscrit non pas dans la pierre mais dans le végétal. Notre guide, Gilles Rayé, sait nommer plantes et oiseaux. Naturaliste, ancien du ministère de l'Écologie, il est aujourd'hui le secrétaire de Rewilding France, la toute nouvelle association qui plaide pour qu'on laisse les espaces naturels évoluer librement. C'est aussi un enfant du pays. Et ce pays, il l'a connu complètement différent. Il s'est « réensauvagé » sans qu'on s'en soucie, jusqu'à ce que les questions de protection de la biodiversité et d'usage des terres ne deviennent un débat de société.

Gilles Rayé montre « le cortège de la reconquête ». Au sol, les touffes d'aphyllanthes de Montpellier couronnées de petites fleurs bleues et le thym témoignent d'un ancien paysage de prairies rases broutées par les chevaux et les moutons. Les viornes, les cornouillers sanguins, le nerprun ala-



La superficie forestière en métropole est passée en un peu plus d'un siècle de 10 à 17 millions d'hectares, couvrant désormais 31 % du territoire.

BRUNO BOURGEOIS / SOURCE: IGN

ÉCOSYSTÈMES

Des aires protégées… mal protégées

Selon l'Union internationale de conservation de la nature (UICN), moins d'un quart des aires protégées dans le monde ont des moyens suffisants pour protéger efficacement la faune et la flore. De quoi tempérer le *satisfecit* des 195 États signataires de la convention sur la biodiversité qui se félicitent d'avoir atteint en 2020 l'objectif de protection de 17 % des terres et 10 % des mers. Ces espaces ne sont souvent pas les plus intéressants sur le plan de la biodiversité et ne répondent pas toujours aux critères de l'UICN, pour qui une aire protégée est *« un espace géographique clairement défini, reconnu, spécialisé et géré par des moyens légaux ou d'autres moyens efficaces, visant à assurer la conservation à long terme de la nature et des services écosystémiques et valeurs culturelles qui y sont associés »*.
Sur le papier, la France (outre-mer compris) comptait 5923 aires protégées couvrant 35 % du territoire en 2021. Or dans la réalité, seul 1 % correspond aux réserves intégrales et zones de nature sauvage qui impliquent l'interdiction de prélèvements de bois et d'activités de chasse, de pêche et d'élevage. Ainsi, la réserve naturelle des hauts plateaux du Vercors accueille-t-elle quelques milliers de moutons sur ses 17 000 hectares.

terne trahissent la vigueur de la colonisation des buissons. Au-dessus d'eux, culminent les frondaisons des érables de Montpellier, des chênes pubescents, des pins sylvestres. Le milieu est désormais ombragé et les aphyllanthes, qui ont tant besoin de soleil, ne tiendront plus très longtemps avant de laisser la place aux plantes des sous-bois. *« Pas un seul de ces végétaux n'est ici par la volonté des humains,* se réjouit Gilles Rayé. *Tout est revenu naturellement par des graines apportées par le vent ou les animaux.* »
Il y a cent ans, le calcaire de ces reliefs du Vercors, du Diois, des Baronnies était à nu. L'agriculture en terrasses, le pâturage par les troupeaux avaient quasiment éradiqué le couvert végétal. *« Les gens vivaient chichement et quand les villes ont eu besoin de main-d'œuvre, la campagne s'est vidée en quelques décennies »*, rappelle le naturaliste. Alors les végétaux sont revenus, ont reconstitué des sols par leur humus. *« Dans les années 1960, ici, on ne voyait pas d'arbres, juste des buissons, c'était le domaine des lièvres et des perdrix »*, s'amuse Gilles Rayé. La succession des saisons a induit des changements progressifs. La grive musicienne a remplacé la perdrix, le sanglier le lapin. À chacun sa place au fil du temps. *« C'est la définition même de l'évolution,* explique notre guide. *Les espèces vivent dans des milieux spécifiques adaptés à leurs besoins et la richesse d'un endroit tient à la cohabitation de ces milieux.* »
Cette évolution naturelle ne l'est cependant pas tant que ça. L'humain y a mis son grain de sel. Il a réintroduit des animaux. Dans les années 1950, les sociétés de chasse et les fonctionnaires des Eaux et Forêts ont lâché des cerfs, des chevreuils, des sangliers, des chamois qui avaient disparu. Sans aucune ambition naturaliste : il s'agissait de favoriser la chasse de loisir. Les parcs nationaux et régionaux ont suivi mais pour des raisons écologiques cette fois, en réintroduisant le bouquetin en 1989 et le vautour fauve en 1996. Du « réensauvagement passif » on est passé au « réensauvagement actif », sans que cela soit bien assumé.

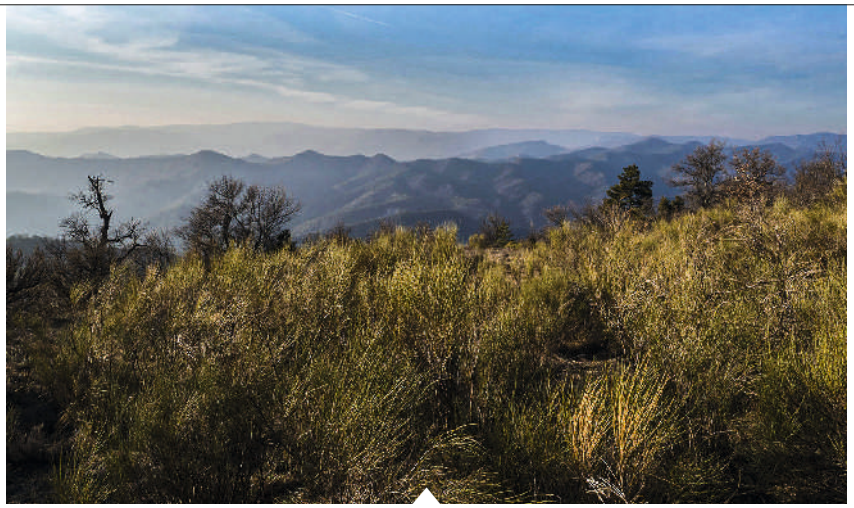
Un concept de « libre évolution » encore peu étudié

Ainsi, si le loup a colonisé l'ensemble des Alpes françaises depuis 1992, c'est bien parce que les chasseurs lui ont fourni de quoi manger. Aujourd'hui, grâce à l'abondance en cerfs et sangliers, les pentes que nous empruntons dans les hauts de Saillans sont l'habitat d'une meute bien installée d'au moins cinq membres avec des louveteaux qui sont nés ce printemps. L'impact sur les populations d'ongulés est immense. *« Cerfs et chevreuils ne se concentrent pas pour éviter d'attirer le prédateur, ce qui provoque une "dispersion par la peur"* », constate Gilles Rayé. Dans une note publiée en mars, la Fondation pour la recherche sur la biodiversité (FRB) déplore que ce concept de « libre évolution » des milieux naturels soit encore mal défini et peu étudié scientifiquement. *« Peu de laboratoires s'y intéressent »*, confirme Gilles Rayé.
Cette histoire s'est répétée dans toutes les régions de terres pauvres et de moyenne montagne — Massif central,

GILLES RAYÉ

« Dans les années 1960, ici, on ne voyait pas d'arbres, juste des buissons, c'était le domaine des lièvres et des perdrix »

Gilles Rayé,
naturaliste, secrétaire de Rewilding France



RICHARD HOLDING

La « réserve de vie sauvage » du Grand Barry (Drôme), espace privé de 130 hectares laissés en « libre évolution », n'a pas vu une seule intervention humaine depuis dix ans.

REMI COLLANGE

Le vautour fauve, réintroduit en 1996, compte aujourd'hui 1000 individus aux abords du Vercors. Sa présence attire les visiteurs, une source de revenus pour la région.

Pyrénées, Jura. À l'heure où l'on parle de « sixième extinction » des espèces, jamais, en France, l'agriculture n'avait autant reculé pour laisser la place à la nature. Depuis les années 1960 et les premiers parcs nationaux, puis 1976 et sa première loi de protection de la nature, le pays s'est doté d'un complexe arsenal juridique. Mais ces zones protégées n'empêchent pas les activités humaines (élevages, tourisme et notamment sports d'hiver) et leurs impacts, tandis que les espaces exploités, principalement par l'agriculture, ont connu une forte dégradation du fait de la destruction des haies et de l'usage des pesticides. *« On a abandonné ici pour exploiter là avec des méthodes intensives qui ont gravement affecté les populations d'oiseaux, de mammifères, d'insectes »*, dénoncent Béatrice Kremer-Cochet et Gilbert Cochet, présidents de l'association Forêts sauvages. Ces deux naturalistes lorgnent depuis longtemps sur ces lieux où faune et flore s'épanouissent. *« Depuis les années 1980, nous achetons des terrains repris par la nature et qui n'ont plus de valeur aux yeux de leurs propriétaires,* racontent les deux auteurs de *L'Europe réensauvagée* (éditions Actes Sud). *Nous pouvons alors y pratiquer la libre évolution parce qu'un propriétaire a le droit de faire ce qu'il veut de son terrain. Y compris… rien du tout!* » Le couple Cochet s'est naturellement associé à l'Association pour la protection des animaux sauvages (Aspas) qui s'est également lancée il y a une dizaine d'années dans le rachat de terrains pour les laisser évoluer.

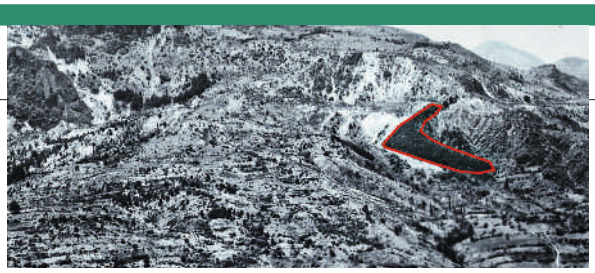
Prochaine étape : réintroduire de grands herbivores

Avec Gilles Rayé, nous sommes passés en bordure de la « réserve de vie sauvage » du Grand Barry, sur la commune de Veronne jouxtant Saillans. Depuis dix ans, ces 130 hectares de pentes et de falaises calcaires n'ont plus vu une seule intervention humaine, même si l'accès est permis aux randonneurs soucieux de ne laisser aucune trace de leur passage. Cette première expérience s'est dou-

TERMINOLOGIE

Un problème de définition

Quel mot pour définir l'évolution naturelle de la nature ? L'anglicisme *rewilding* pourrait être traduit littéralement par « réensauvagement ». Mais les naturalistes redoutent l'usage du mot « sauvage » qui a rarement une connotation positive en français. Le terme de « pleine naturalité » utilisé par Emmanuel Macron mérite, lui, d'être précisé selon une note conjointe de l'Office français de la biodiversité, du Muséum national d'histoire naturelle et du CNRS. Car il implique de définir le degré d'intégrité du milieu naturel étudié, le niveau d'influence de l'homme sur l'évolution de cet espace, et enfin la surface concernée et son histoire vis-à-vis des usages humains. Ainsi, la notion de pleine naturalité ne peut s'appliquer à des territoires où se pratiquent agriculture et élevage, même si ces zones peuvent bénéficier d'une protection forte.



GILLES RAYÉ

La montagne d'Oule (Hautes-Alpes) était à nu en 1940 (en haut), excepté un reliquat de forêt (pourtour rouge) ; elle est à présent couverte de végétation, sans intervention humaine (ci-contre).

blée d'un nouvel achat sur le plateau du Vercors qui, lui, a fait polémique. *« Cet espace de près de 500 hectares comprenait une réserve de chasse clôturée permettant de tirer des animaux exotiques comme le cerf sika,* raconte-t-on à l'association. *Nous avons l'obligation de gérer cette réserve et des animaux se sont échappés, ce qui a permis à certains opposants d'affirmer que laisser la nature faire ne pourrait qu'apporter des dommages aux riverains.* » Alors qu'on constate le contraire. Réintroduit en 1996, le vautour fauve compte désormais 1000 individus fréquentant les abords du Vercors. On s'y presse pour les admirer. Selon une étude de « l'Évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques » (Efese), la commune de Rémuzat (Drôme), site historique de la réintroduction, reçoit 12 000 visiteurs par an pour un million d'euros de recettes. Contre rien auparavant. Pour Gilles Rayé, c'est la preuve que le retour de la nature est aussi profitable économiquement. *« La prochaine étape, c'est de créer des espaces de plusieurs milliers d'hectares, ce qui permettrait de réintroduire de grands herbivores comme le tarpan, un cheval sauvage, et surtout le bison.* »

Quelle part doit-on laisser à une nature sans humains ou presque ? C'est la question désormais posée au niveau national et international. La prochaine réunion onusienne sur la convention sur la biodiversité adoptée en 1992 doit avaliser l'objectif de protection de 30 % de la surface des continents d'ici à 2030. Mais bien rares sont, dans le monde, les régions effectivement protégées de l'exploitation humaine *(lire l'encadré p. 80)*. En France, le président Emmanuel Macron annonçait en 2019 vouloir *« porter à 30 % la part de nos aires marines et terrestres protégées, dont un tiers d'aires protégées en pleine naturalité* ». Aujourd'hui, environ 1 % du territoire bénéficie d'une réelle protection limitant drastiquement l'impact des activités humaines. L'objectif paraît ambitieux. Alors qu'il « suffit » de laisser la nature faire. ■

FRANCIS HALLÉ BIOLOGISTE ET BOTANISTE *

« Nous allons recréer une forêt primaire »

« Il n'existe plus aujourd'hui en Europe de l'Ouest de forêt primaire, c'est-à-dire de forêt jamais exploitée par l'humain. Avec les membres de l'association qui porte mon nom, nous voulons en recréer une. Notre projet de renaissance consiste à partir d'un espace forestier existant, sur 70 000 hectares, pour y laisser se reconstituer un écosystème indispensable face à la crise écologique. C'est un point minuscule à l'échelle du territoire, même si aucune réserve biologique intégrale en France ne possède cette surface, mais c'est le minimum pour que la grande faune y soit présente : cerfs, chevreuils, sangliers bien sûr, mais aussi le loup et les grands herbivores tels que des chevaux sauvages et des bisons. La durée nécessaire pour son évolution complète vers une canopée fermée est, ici, de 800 ans. Un projet de cette dimension ne peut qu'être transfrontalier. Nous étudions deux possibilités : les Ardennes avec la Wallonie d'une part, les Vosges du Nord avec la Rhénanie-Palatinat d'autre part. Notre projet n'est pas un sanctuaire. Ce sera au contraire un espace pour la recherche scientifique, mais aussi un lieu de découverte(s) pour les touristes, etc. Le cœur d'un projet de développement plus large. Une exploration de l'habitabilité de notre planète."

Propos recueillis par L. C.

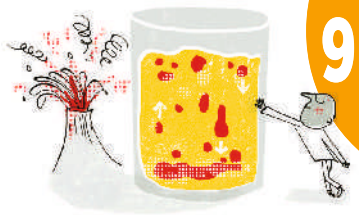
* Concepteur du « radeau des cimes » qui a permis l'exploration de la canopée forestière sans provoquer de dommages.

JULIEN FAURE/LEEXTRA/OPALE PHOTO

HORS-SÉRIE

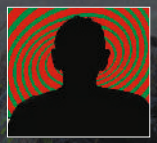
LES INDISPENSABLES

SCIENCES ET AVENIR



+ 9 EXPÉRIENCES INSOLITES à faire en famille

50 PHÉNOMÈNES INTRIGANTS



Quand le cerveau nous joue des tours

Le mystère des cercles de pierres

Dans le ciel, des formes étranges

SERGE BLOCH ; JOHN FINNEY/GETTY IMAGES ; SPLASH/CHE SALÉ ; ABACA PRESS ; CREATIVE COMMONS

en vente en kiosque

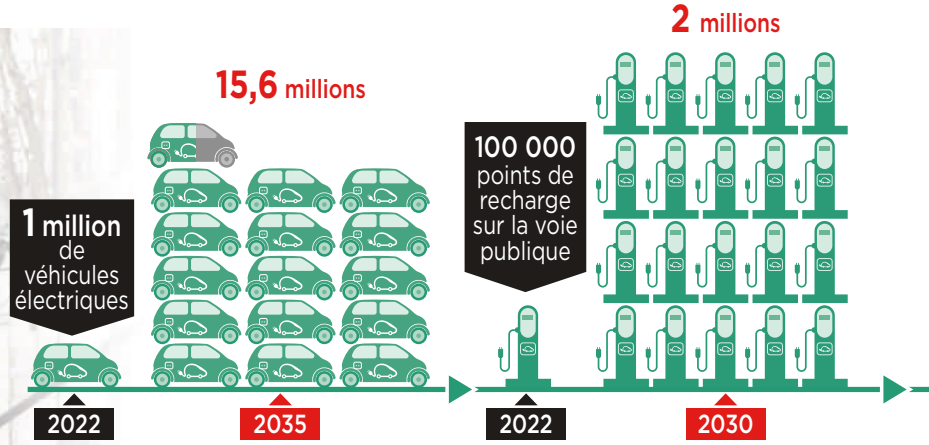
Pourra-t-on partir en vacances en électrique ?

À l'aube d'un changement radical annoncé, le débat fait rage chez les automobilistes. L'abandon des stations-service traditionnelles au profit de bornes de recharge encore rares aujourd'hui annonce-t-il un chaos sans précédent lors des chassés-croisés des vacanciers ? Réponse dépassionnée avec les chiffres des professionnels du secteur.

Premier août 2035. Les Français se ruent sur les routes pour profiter de leurs sept semaines de congés payés ou pour un week-end prolongé autorisé par la semaine de quatre jours de travail instaurée en 2028. Cela bouchonne sur l'autoroute. Et pourtant, on entend les oiseaux chanter. À l'arrêt, les moteurs électriques se taisent. Seuls quelques antiques modèles essence ou diesel rompent l'harmonie. La plage est encore loin mais les conducteurs sont sereins. Ils savent qu'ils auront assez d'énergie pour arriver à destination. Confiants.

En cet été 2022, peu d'automobilistes croient à un tableau aussi idyllique. À Réseau de transport d'électricité (RTE), le gestionnaire des lignes haute tension en France, on avoue sans ambages qu'il s'agit d'une question qui leur est très souvent posée : *« Y aura-t-il assez d'électricité pour alimenter toutes ces voitures qui devront obligatoirement faire*

MICHEL COUPARD / BIOSPHOTO - BRUNO BOURGEOIS



PARC AUTOMOBILE : L'ÉLECTRIQUE DÉCOLLE
Les véhicules électriques représenteront 40 % du parc automobile total en 2035, selon le scénario établi par RTE, le gestionnaire des lignes haute tension en France.

DES BORNES DE RECHARGE PAR MILLIONS
Outre celles de la voie publique, 6 à 10 millions de bornes de recharge seront également nécessaires au domicile et sur le lieu de travail.

le plein sur la route du fait de la capacité limitée des batteries ? » Les conducteurs font leurs comptes. Les modèles actuels les plus abordables plafonnent à 300 kilomètres d'autonomie. Dès lors, l'électricité sera-t-elle disponible aux étapes obligées ? Et si des milliers de voitures rechargent en même temps, est-ce que la production sera suffisante ? Et combien de temps faudra-t-il pour pouvoir repartir avec le « plein » ? Si les trajets du quotidien sont largement à la portée des capacités des batteries, il n'en est pas de même pour ces longues distances, certes rares — moins de 15 % des déplacements —, mais si importantes pour les familles. Dans la stratégie de réduction des émissions de gaz à effet de serre dans les transports (30 % des émissions nationales, dont plus de la moitié provient des voitures individuelles), c'est un frein mental.

Pourtant, l'électrification du parc automobile est bien en marche. *« Nos projections établies sur des chiffres de 2019 envisageaient un scénario dit haut d'un développement rapide nous amenant à plus de 15 millions de voitures électriques en 2035,* se souvient Yannick Jacquemart, directeur flexibilité et mobilité électrique chez RTE. *Cette tendance optimiste est en fait devenue la plus réaliste !* » Le décollage est récent. Les modèles électriques et hybrides rechargeables représentaient 3 % des ventes en 2019. Leur part a atteint les 15 % en 2021 et dépassé en avril les 17 % selon l'Avere-France, l'association qui suit le développement de la mobilité électrique dans l'Hexagone. La fin de la commercialisation de véhicules diesel et à essence, prévue pour 2040 selon la stratégie nationale bas carbone (SNBC) du gouvernement, pourrait bien intervenir beaucoup plus tôt. Les ventes de véhicules électriques devraient être supérieures à celles de voitures à essence dès 2030. La tendance est la même au niveau européen. Mais pour Eurelectric, association représentant les intérêts de l'industrie électrique, ce n'est pas un problème : elle estime que le réseau continental pourra accueillir la charge de plus de 100 millions de voitures en 2035.

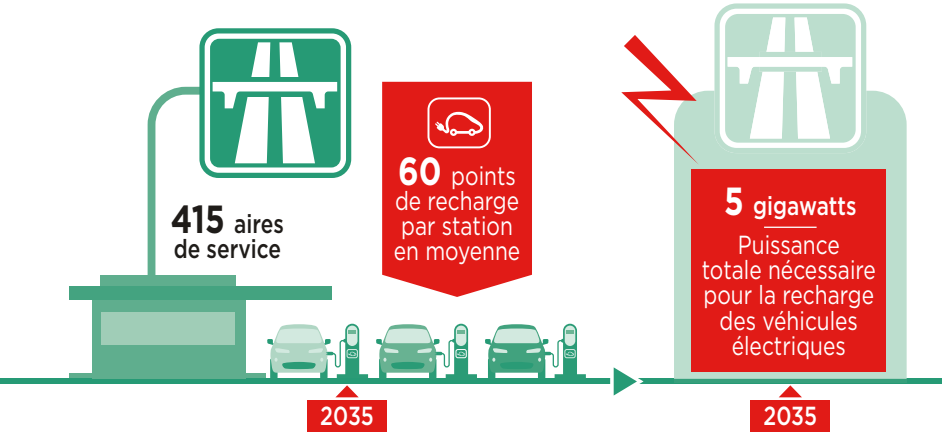
YANNICK JACQUEMART

« En été, les usines et bureaux ont une activité réduite, alors que la production photovoltaïque est très importante »

Yannick Jacquemart,
directeur flexibilité et mobilité électrique chez RTE

Les congés de Noël poseront plus de problèmes

Dès lors, la crainte d'un manque d'énergie sur la route des vacances ne dépendra plus des importations de pétrole, mais des capacités de production provenant de sources décarbonées, nucléaire et énergies renouvelables. Les ingénieurs de RTE, d'Enedis — le gestionnaire du réseau basse tension — et de l'Avere-France ont donc sorti leurs règles à calcul. Et leurs conclusions sont sans appel : il sera toujours possible de traverser la France entière pour aller boire frais à Saint-Tropez avec un véhicule électrique. *« En été, les recharges pour les besoins de mobilité longue distance sont concentrées lors des périodes où le système électrique dispose de marges importantes,* assure en effet Yannick Jacquemart. *Les usines et bureaux ont à cette époque de l'année une activité réduite, alors que la production photovoltaïque est très importante.* » Pour les électriciens, la part de la recharge des véhicules légers sur les aires d'autoroute lors des grands chassés-croisés des vacances d'été restera faible. La puissance demandée devrait avoisiner très ponctuellement les 8 gigawatts (GW) environ, alors que les besoins de la France en été sont en moyenne de l'ordre de 45 GW. C'est à l'autre bout du calendrier que RTE entrevoit en fait un possible problème : lors des départs en congés de Noël de la France entière,



DES STATIONS-SERVICE EN PLEINE MUTATION
Dans les stations les plus sollicitées (autoroutes A6, A7, A8, A9), jusqu'à 200 points de recharge seront nécessaires, chaque borne permettant une recharge à 80 % en 20 minutes.

UNE FORTE PUISSANCE POUR RÉPONDRE AUX BESOINS DES AUTOROUTES
Cette prévision établie par Enedis représente 0,7 % de la consommation française totale d'électricité.

car ils peuvent coïncider avec une vague de froid et de demandes importantes en chauffage. Ainsi, les appels de puissance pour la mobilité longue distance pourraient également atteindre 8 GW mais dans un contexte où la pointe de la consommation nationale d'électricité peut être autour des 90 GW (88,5 GW atteints lors de la journée de grand froid du 24 janvier dernier).

S'il y a donc assez d'électricité pour alimenter les voitures, disposera-t-on en revanche de suffisamment de points d'accès pour recharger sa batterie lors des grands départs ? Il faut que les aires d'autoroute puissent absorber le flux. En charge de l'alimentation des consommateurs finaux, Enedis a calculé qu'il lui faudra raccorder l'équivalent de 5 GW de bornes de recharge pour répondre aux besoins des autoroutes. Pour arriver à ce chiffre, quelques hypothèses ont dû être posées. Ainsi, le gestionnaire table sur 40 % d'hybrides rechargeables qui continueront de rouler à l'essence, des progrès des batteries, mais aussi la diminution de l'usage de la voiture individuelle pour partir en vacances. *« Des réflexions sont en cours avec les professionnels du tourisme pour mettre sur pied une offre adaptée de véhicules électriques sur les lieux de congés,* révèle Clément Molizon, directeur adjoint de l'Avere-France. *Les vacanciers pourraient ainsi prendre le train et récupérer une voiture à leur arrivée.* » Mais afin d'éviter de surdimensionner les installations, les modélisations ne prennent pas en compte les 30 heures les plus chargées de l'année… Les files d'attente à la prise durant les pics de trafic ne sont donc pas à exclure, mais impossible à ce jour de connaître leur longueur.

L'adaptation du réseau coûterait 600 millions d'euros

Enedis se veut confiant. Le remplacement des cuves de carburants pétroliers par des bornes de recharge est techniquement simple et financièrement supportable. *« À l'horizon 2035, dans une configuration "haute", les besoins de puissance seraient de l'ordre de 12 MW par aire en moyenne, soit 60 points de charge de puissance moyenne de 200 kW, et atteindraient 40 MW et 200 points de charge sur les aires les plus sollicitées »*, estime le rapport conjoint de RTE et d'Enedis. Les extensions et adaptations de réseau ne posent pas de problème technique particulier et les coûts sont estimés à 600 millions d'euros pour l'alimentation de 15 millions de voitures, soit 0,6 % des investissements planifiés par Enedis d'ici à 2035. Les 200 kW peuvent couvrir les besoins de la majorité du parc et quelques bornes à 350 kW rechargeront les batteries les plus grosses.

Les aires d'autoroute auront alors complètement changé d'aspect. Plus besoin de concentrer le flux des voitures sur le point de stockage du carburant. Les câbles alimenteront les bornes installées sur les emplacements d'une partie du parking. Les pistolets des pompes auront disparu au profit des prises de courant. Et on pourra toujours aller à la plage. ■ **Loïc Chauveau** @Loïc_Chauveau

ÉQUIPEMENT

L'essentiel des recharges se fera sur des espaces privés

Cet été, il sera difficile de trouver des bornes électriques sur les 415 aires d'autoroute françaises. Un peu plus d'une centaine seulement en sont équipées. *« Les gestionnaires ont cependant multiplié les appels d'offres et on peut penser que, fin 2022, l'ensemble des stations autoroutières en auront »*, table Clément Molizon, directeur adjoint de l'Avere-France. Réglementairement, les bornes devront aller de 22 kW à 350 kW pour la recharge ultrarapide. Le maillon autoroutier ne représente cependant qu'une petite partie du nouveau système d'alimentation des voitures. *« La recharge se fera principalement au domicile et sur le lieu de travail »*, précise Clément Molizon. Selon RTE, 85 % du plein d'électricité s'effectuera sur des places privées, contre 15 % sur la voirie dont les aires d'autoroute. Selon les calculs du consultant Laurent Benzoni dans *La Revue de l'énergie*, plus de 11 millions de logements individuels et collectifs sur 30 millions n'ont pas de place individuelle de parking et devront trouver une solution dans l'espace public. De plus, selon cet article, les pouvoirs publics devront veiller à ce qu'il n'existe pas de « zones blanches » défaillantes en points de recharge.

S. SHEPHERD/ PLAINPICTURE

Le plein d'électricité s'effectuera à 85 % sur des bornes à domicile ou au travail, selon RTE.

Pour suivre en direct l'ouverture de bornes publiques :
sciav.fr/905recharge

SCIENCES ET AVENIR
La Recherche

L'ARABIE SAOUDITE

s'ouvre au Monde

C'est à une exploration de trésors archéologiques extraordinaires que Sciences et Avenir - La Recherche convie aujourd'hui ses lecteurs dans un pays qui commence tout juste à s'ouvrir aux touristes. Qui dit Arabie Saoudite pense surtout or noir et pays hermétique. Mais le royaume, de son côté, pense déjà à l'après-pétrole. D'où l'ouverture des frontières décidée dès l'année 2019, refermées pour cause de Covid19 puis ré-ouvertes, ce qui autorise ce voyage inoubliable. Spécialement pour notre groupe, des scientifiques amis de notre magazine décrypteront l'histoire du pays à travers les siècles, et tout particulièrement de la légendaire civilisation des Nabatéens, mentionnée dans la Bible et le Coran. Il sera ainsi possible de découvrir une oasis aussi renommée que celle d'Al-'Ulâ, dans la province de Médine, pour laquelle un partenariat de cinq ans avec l'Unesco a été signé à l'automne 2021 par la « Commission Royale pour Al-'Ulâ ». Un gigantesque centre de recherche en archéologie doit y être installé. Le désert de ce qui est le plus grand pays du Moyen-Orient, jadis arpenté par Lawrence d'Arabie et depuis vingt ans par d'éminentes équipes françaises d'archéologues, recèle en effet des architectures monumentales spectaculaires. Autre étonnante vision, celle des grandes villes - Djeddah, inscrite au patrimoine mondial de l'Unesco et la capitale Riyad avec son célèbre gratte-ciel pyramidal surmonté d'un globe de verre, conçu par la star de l'architecture high-tech Norman Foster. Un voyage exceptionnel en perspective.

DOMINIQUE LEGLU, *directrice éditoriale de Sciences et Avenir - La Recherche*

BERNADETTE ARNAUD, *grand reporter à Sciences et Avenir - La Recherche*

5 990 € par pers. en chambre double | 10 JOURS / 9 NUITS | www.sav-alula.fr | Tél. 01 84 76 22 35

DU 12 AU 22 NOV. 2022 | AVEC **BERNADETTE ARNAUD**, Grand reporter et **VINCENT CAPDEPUY** Géohistorien spécialiste d'histoire globale.

DU 3 AU 13 DÉC. 2022 | AVEC **DOMINIQUE LEGLU**, Directrice éditoriale et **MARIE-CHRISTINE DE WARENGHIEN** Experte de la destination Moyen-Orient a vécu plus de 12 années aux émirats.

LES POINTS FORTS

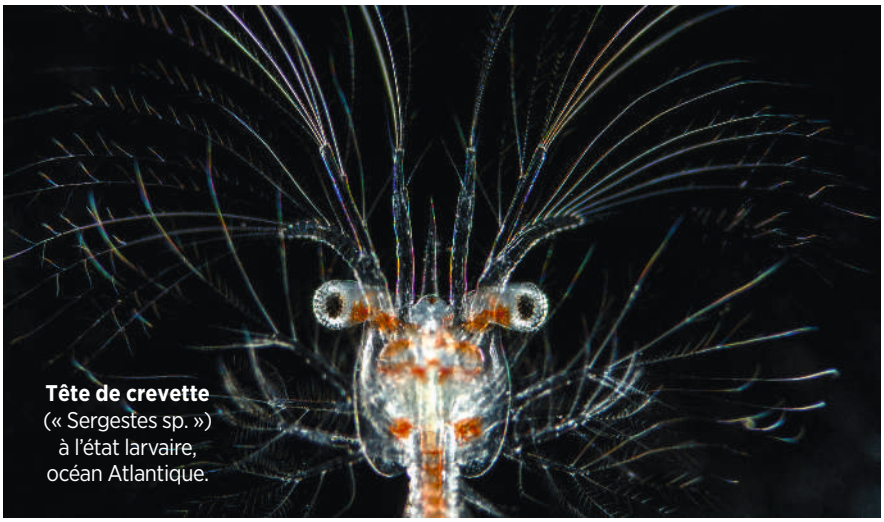
Le vol direct PARIS- DJEDDAH / RIYAD- PARIS | Des sites classés au patrimoine mondial de l'Unesco | 3 nuits exceptionnelles au SHADEN resort | L'itinéraire le plus complet proposé | Le trajet en train Jubbah RIYAD | Les vols intérieurs. | Des hôtels sélectionnés (malgré une infrastructure hôtelière pas toujours adaptée) | Un spécialiste de la destination | Des conférences dans vos hôtels.

COLLECTION Infini — Mycomm

SARL Mycomm - 40 avenue Raspail - 94250 Gentilly • Immatriculation Atout France IM094100035 • Assurances Professionnelles by Hiscox - Tourisme Pro n° RCE1006 et n° RC1006-PI0116 • Agence garantie par l'APST • RCS 510 368 400

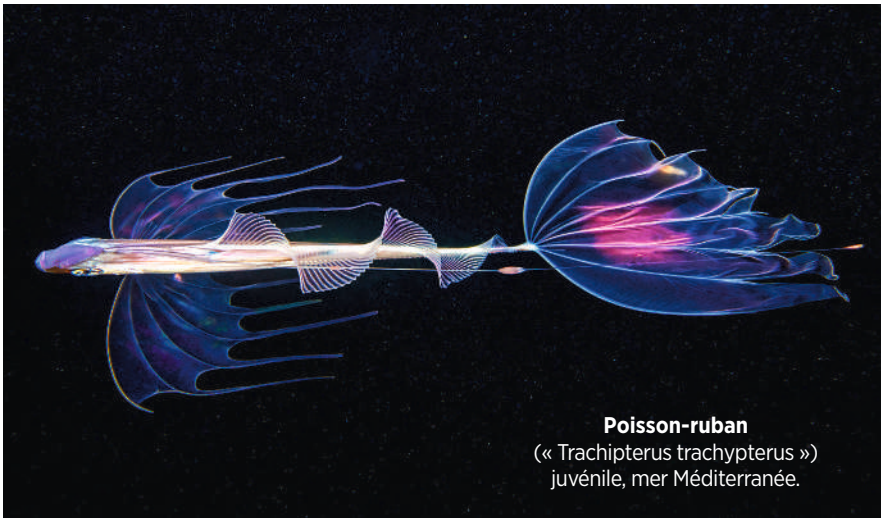
L'océan, c'est la vie

C'est dans l'océan que la vie est apparue il y a 3,9 milliards d'années. Et c'est de lui, recouvrant 70 % de la surface terrestre, que dépend aujourd'hui la survie de l'humanité. Le festival Grand Océan destiné au grand public, dont la première édition se déroulera les 7, 8 et 9 octobre à la Cité de la mer à Cherbourg, veut en faire prendre pleinement conscience. *Sciences et Avenir-La Recherche* en partenariat avec *Les Échos*, avec la ville de Cherbourg, la communauté d'agglomération du Cotentin, le département de la Manche et la région Normandie ont voulu réunir une trentaine des meilleurs scientifiques pour créer un événement majeur, porteur de cet engagement : il faut protéger l'océan et ses centaines de milliers d'espèces vivantes. Rappelons qu'il absorbe le quart du gaz carbonique de l'atmosphère, que son phytoplancton fournit la moitié de notre oxygène et qu'en retenant la chaleur, il empêche le climat de basculer. Un manifeste sera publié, appelant à protéger cette vie de l'océan. Et donc la nôtre. ■ **D. J. L.**



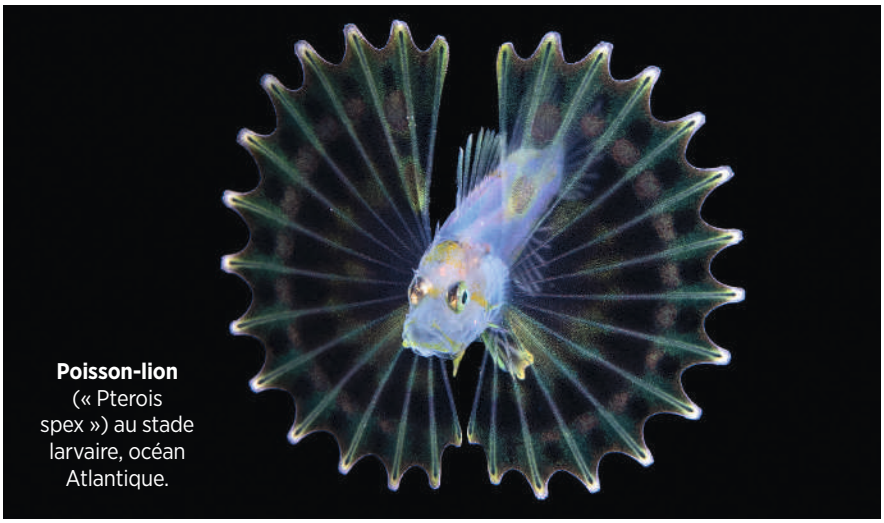
Tête de crevette (« Sergestes sp. ») à l'état larvaire, océan Atlantique.

S. ZANKL/ NATUREPL/ EBPHOTO



Poisson-ruban (« Trachipterus trachypterus ») juvénile, mer Méditerranée.

A. SEMENOV/ SPL/ SUCRÉ SALÉ



Poisson-lion (« Pterois spex ») au stade larvaire, océan Atlantique.

STEVEN KOVACS/ BIOSPHOTO

Grand Océan, un festival pour sauver les mers

C'est grâce aux 250 000 espèces qui peuplent ses eaux que l'océan est vivant. La protection de cet écosystème global sera au cœur de la première édition du festival Grand Océan, organisé par « Sciences et Avenir-La Recherche » qui se déroulera les 7, 8 et 9 octobre à la Cité de la mer à Cherbourg.

Non, ce n'est pas un *alien* qui vous scrute, mais une élégante coquille Saint-Jacques. Si vous avez la patience d'observer l'animal de façon plus scientifique que gastronomique, vous vous apercevrez en effet que c'est elle qui vous regarde de ses… 200 yeux! On les appelle ocelles. Il s'agit de nano-miroirs concaves qui réfléchissent la lumière vers la rétine de *Pecten maximus*. Cet organe visuel semble parmi les plus sophistiqués qui soient dans la nature et fait songer à rien de moins qu'à nos propres grands télescopes optiques (1). Surprenant, non? S'il semble indispensable de protéger la célèbre coquille c'est bien parce que nous apprécions le muscle adducteur et les gonades de l'animal… bien cuisinés. *« 23 000 tonnes ont pu être pêchées en 2020 en Manche-Est »*, rappelle le biologiste Éric Foucher d'Ifremer, à Port-en-Bessin (Calvados), un de ses meilleurs connaisseurs, présent lors de l'événement Grand Océan à Cherbourg (Manche) organisé par

O. LECLERCQ/HEMIS.FR

La Cité de la mer, vaste musée océanographique à Cherbourg, accueillera le festival Grand Océan.

Sciences et Avenir-La Recherche et ouvert à tous les 7, 8 et 9 octobre prochains *(lire le programme p. 91)*.

Problème : il ne faudrait pas résumer la protection à apporter à la biodiversité de l'océan à celle de quelques espèces que, nous Terriens, consommons. Qu'elles s'appellent poissons (morue, bar, mérou, thon, sole, requin…) pêchés à plus de 100 millions de tonnes par an selon la FAO, l'organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, crustacés (crabes, crevettes…), mammifères (baleines…), algues… L'océan, *« ce sont 250 000 espèces vivantes »*, rappelle Gilles Bœuf, professeur à Sorbonne Université et ancien président du Muséum national d'histoire naturelle de Paris, l'une des grandes voix qui défendent la mer et ses richesses. Il sera l'un des ténors de l'ouverture de Grand Océan, avec l'explorateur Jean-Louis Étienne et l'océanographe Catherine Jeandel, copilote du grand programme prioritaire Océan-Climat du CNRS.

C'est rarement lors de nos baignades le long des côtes que nous, grand public, pouvons réellement nous rendre compte de cette diversité. Encore moins lors d'une croisière sur un trop haut bateau, permettant d'apercevoir parfois des dauphins amis ou quelques poissons volants… D'autant que nombre de ces espèces sont… invisibles ou presque!

ENTRETIEN

BERNARD CAUVIN

PRÉSIDENT DE LA CITÉ DE LA MER

« L'océan du futur enthousiasme les jeunes »

C'est à la Cité de la mer de Cherbourg que se dérouleront les rencontres scientifiques du festival Grand Océan. Elle abrite des engins sous-marins mythiques, tels le *Nautile* descendu explorer l'épave du *Titanic* et le sous-marin le *Redoutable*. *« L'océan est la clé de tout, il détient l'avenir de l'humanité »*, dit son président-fondateur Bernard Cauvin. Rencontre.

V. BELLEVILLE/PHOTOPQR/OUEST FRANCE/MAXPPP

Vous avez fondé la Cité de la mer il y a vingt ans. Qu'est-ce qui a changé depuis 2002 ?

Nous avons compris — et je me mets dans le lot — que l'océan est la clé de tout. Il peut le rester demain si les humains arrêtent de gaspiller et ont la sagesse de le préserver. Au sujet de sa biodiversité, je retiens le mot de mon ami Jacques Rougerie [architecte océanographe], selon lequel *« on en est encore à l'âge de Cro-Magnon. On ne sait pas grand-chose »*. Or, chaque fois que les scientifiques découvrent une nouveauté dans l'océan, elle est porteuse de fabuleuses promesses, dans de multiples domaines (pharmacopée, cosmétique…). Il faut que les pays, dont le nôtre, investissent dans la recherche et l'innovation.

Vous avez été à l'origine de #GénérationOcéan avec des collégiens, lycéens… L'éducation à l'océan, c'est important ?

#GénérationOcéan est née de la dernière exposition permanente « L'Océan du futur », ouverte en 2019, lancée après la rencontre extraordinaire avec Jacques Perrin, devenu un ami et récemment disparu, qui a jadis tourné à la Cité de la mer des séquences de son film *Océans*. J'ai senti une attente forte chez les jeunes après des rencontres avec des océanographes passionnés permettant de découvrir *« le dernier territoire sauvage de la planète »*, comme l'estime François Sarano, les grands fonds avec les images superbes de James Cameron, le monde de l'infiniment petit avec la Fondation Tara… ■ **Propos recueillis par D. J. L.**

« L'océan est peuplé d'une multitude de micro-organismes d'une taille allant de 0,01 micromètre à 1 centimètre. Chaque litre d'eau de mer en contient entre 10 et 100 milliards. C'est la même différence d'échelle qu'entre une fourmi et un brontosaure », explique Romain Troublé, directeur général de la fondation Tara, dont la goélette navigue aujourd'hui au large de l'Afrique, poursuivant depuis décembre 2020 sa « Mission Microbiomes » (2), autrement dit un tour de l'Amérique du Sud puis une remontée le long des côtes du continent africain vers l'Europe, le tout sur 70 000 km.

L'échange océan-atmosphère est crucial pour le climat

« On ne protège que ce qu'on aime », souligne Bernard Cauvin, président de la Cité de la mer *(lire l'interview ci-contre)*, citant volontairement le commandant Cousteau, qui fit découvrir aux Français *Le Monde du silence* depuis la *Calypso*. À Cherbourg, le plongeur François Sarano, qui fut aussi conseiller scientifique de Jacques Cousteau, racontera ses rencontres avec les requins (indispensables prédateurs) et leurs alliées invisibles, des bactéries digestives extraordinaires, capables de digérer la chitine de la carapace des crustacés… Reste effectivement à faire aimer ces invisibles, dont le nom de microbiome n'est pas encore passé dans les mœurs ! Et quand les plus classiques termes de phytoplancton et zooplancton continuent de garder leur mystère, *« dans un pays où on ne parle pas beaucoup de la mer »*, s'agace Bernard Cauvin. Pire, à l'heure de la pandémie de Covid-19, comment ne pas effrayer en précisant que tout ce petit monde marin contient moult virus ? *« Ils participent au bon équilibre du microbiome sans tuer leurs hôtes »*, insiste-t-on à la Fondation Tara. Quant aux bactéries, nombre d'entre elles aident indirectement l'océan à… respirer. Un échange océan-atmosphère crucial pour réguler le climat.

Outre les phénomènes physiques d'absorption du gaz carbonique par l'im-

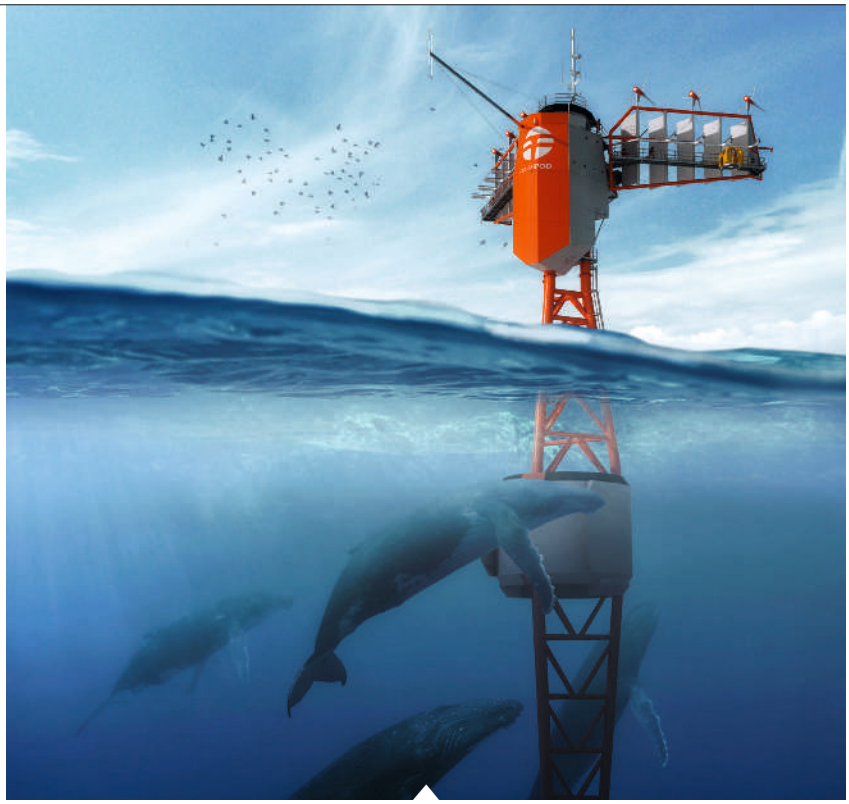
mense surface liquide que représente l'océan, tout particulièrement étudié par l'océanologue géochimiste Catherine Jeandel (CNRS, université Toulouse-III, IRD, Cnes), qui l'évoquera à Grand Océan, on a compris toute l'importance des micro-organismes. Le phytoplancton — avec qui nous partageons un tiers de nos gènes, aussi incroyable que cela puisse paraître — pratique la photosynthèse. D'où cette capacité donnée à l'océan d'absorber jusqu'à 25 % du CO_2 atmosphérique. Et aussi de fournir 50 % de l'oxygène de la planète. Attention à ne pas détruire par la pollution, par les rejets de millions de tonnes de plastiques, un écosystème global aussi fondamental.

Protéger les récifs coralliens par une meilleure gestion côtière

Le réchauffement est, lui, une menace des plus inquiétantes. *« À +2 °C, on perd le corail »*, affirme ainsi Gilles Bœuf. Or, les récifs coralliens accueillent une espèce sur trois qui vit en mer. *« Selon l'Institut des ressources mondiales, nous aurions déjà perdu 20 à 25 % de ces récifs et 50 % seraient en situation préoccupante »*, rappelle Serge Planes, directeur de recherche au CNRS, qui ouvrira la séance consacrée aux coraux (3). Ce spécialiste mondial prône sans relâche une meilleure gestion côtière pour protéger les récifs coralliens, qui font vivre plus de 500 millions de personnes à travers la pêche ou le tourisme.

Cette interaction fondamentale océan-atmosphère, c'est dans l'océan Austral enserrant le continent antarctique, que le célèbre explorateur des pôles Jean-Louis Étienne veut aller, lui, la mesurer. Cet océan froid, considéré comme le « puits de carbone » le plus important de la planète, demeure très mal connu. Avec le *Polar Pod*, navire étonnant parce que vertical, *« dont le profond tirant d'eau permet d'échapper à l'agitation des cinquantièmes hurlants, nous allons mener des études acoustiques pour établir l'inventaire de la faune marine avec des hydrophones installés à 75 mètres de profondeur »*, explique le promoteur de cette nouvelle aventure polaire (4). Une faune encore quasi-inconnue. L'engin pourrait être mis à l'eau dès la fin 2023, début 2024 et la station océanographique internationale installée à bord, coordonnée par le CNRS, en partenariat avec le Cnes et l'Ifremer, commencer d'accueillir les scientifiques. En vue, un recueil de connaissances clés pour la vie de tous les Terriens. ■

Dominique Leglu @dominiqueleglu



JEAN-LOUIS ETIENNE

Le navire vertical « Polar Pod », équipé de capteurs et d'instruments de mesure, partira dans l'océan Austral vers la fin 2023 afin d'y dresser un inventaire de la faune marine.

(1) sciav.fr/905yeux ; (2) sciav.fr/905tara ;
(3) sciav.fr/905coraux (4) ; sciav.fr/905polarpod

PROGRAMME

72 heures pour découvrir librement et préserver les trésors de notre planète bleue

- **7 octobre. 16 h :** Ouverture, Cité de la mer. Annonce de la « Déclaration Grand Océan », avec l'explorateur Jean-Louis Étienne, la navigatrice Isabelle Autissier… Conférences sur « L'extraordinaire biodiversité de l'océan » avec Gilles Bœuf, ancien président du Muséum national d'histoire naturelle, Catherine Jeandel du CNRS, intervention du prince Albert II de Monaco…
- **8 octobre. 9 h :** Une journée pour découvrir les coraux, les abysses mystérieux, les forêts sous-marines, avec des directs depuis la goélette *Tara*, le parc marin de Mayotte, les fermes d'algues aux États-Unis et à Zanzibar… Un grand quiz pour petits et grands, un théâtre des abysses en chaise longue et des histoires étonnantes (requins, coquille Saint-Jacques, grand dauphin, monde invisible de l'océan…). Avec le plongeur François Sarano, les biologistes Éric Foucher, Colomban de Vargas…
- **9 octobre.** Grand pique-nique à Saint-Vaast-la-Hougue.
- **Détails du programme et inscription gratuite :** www.grandocean-event.com

DARREN LANGDON/GETTY IMAGES

Un éclair peut dégager jusqu'à 100 millions de volts. Parmi ses victimes, il faut distinguer les foudroyés, qui meurent aussitôt après avoir reçu la décharge, des « fulgurés » qui, eux, survivent avec des séquelles souvent durables et parfois d'étranges capacités mentales.

Les mystérieux troubles des victimes de la foudre

Capacités cérébrales augmentées, mais surtout handicaps physiques et neurologiques plus ou moins durables sont le lot des personnes ayant été frappées par la foudre. Pour la première fois, une étude a pu être menée sur un groupe de 14 « fulgurés ». Explications.

Par Hugo Jalinière @hugojaliniere

Un grand flash blanc, une détonation sèche d'environ 130 décibels, puis le black-out ; sans crier gare, ce 2 septembre 2017 au village d'Azerailles (Meurthe-et-Moselle), la foudre vient de s'abattre sur un grand aulne. L'un de ses arcs électriques a traversé un barnum situé tout près où 14 personnes étaient venues s'abriter de la pluie. Difficile d'évaluer la tension électrique qui a parcouru alors ces 14 « organismes conducteurs » victimes d'un coup de foudre ; un éclair peut dégager de quelques centaines de milliers à 100 millions de volts, avec une température grimpant jusqu'à 30 000 °C. Pourtant, comme la grande majorité des personnes touchées par la foudre, les « 14 d'Azerailles » vont survivre : ils ont été « fulgurés » — au contraire des foudroyés qui, eux, meurent (une dizaine chaque année en moyenne sur la centaine de victimes en France). Le soir même, le Dr Rémi Foussat, urgentiste en poste au centre hospitalier d'Aurillac (Cantal), est prévenu. Pour ce jeune spécialiste de kéraunopathologie, discipline médicale presque confidentielle traitant des victimes de la foudre, c'est une occasion unique pour tenter de percer les mystérieux troubles dont souffrent les fulgurés. Et notamment les « superpouvoirs » que certains développent parfois.

Bingo ! Deux d'entre eux se sont vus dotés durant des semaines de capacités cérébrales augmentées. L'un était par exemple capable d'attribuer instantanément le jour de la semaine à n'importe quelle date sans jamais l'avoir appris auparavant. Durant plus d'un mois, une autre membre du groupe, Raphaëlle Manceau, professeure des écoles qui n'était en rien une spécialiste du calcul mental, est devenue capable d'effectuer des multiplica-

tions de trois chiffres par trois chiffres tout en chantonnant et en organisant sa journée. Des capacités hors normes acquises néanmoins au prix de lourds handicaps. Outre les violents maux de tête, la fatigue persistante ou les acouphènes, Raphaëlle Manceau a perdu la parole un matin au réveil et développé des troubles de la coordination : dyspraxie, dysgraphie, dysorthographie… Il lui aura fallu plus de trois mois de séances de kinésithérapie et d'orthophonie pour réapprendre à écrire et à parler.

Les effets dépendent du trajet de la foudre dans le corps

L'examen et les échanges avec les fulgurés d'Azerailles ont aussi permis de documenter ce qu'ont ressenti les victimes. Quelques minutes après le choc, la plupart ont repris connaissance dans une odeur de roussi. Premier à être traversé par la foudre, Lilian Gérard, la cinquantaine, raconte la confusion mentale qui suit : *« Je me souviens que j'ai deux enfants et une compagne, mais impossible de mettre des noms ou des visages dessus.* » D'autres rapportent plus simplement la sensation que *« le cerveau ne répond plus* » ou de *« vide total* », avec d'autres troubles de la mémoire et, bien sûr, des douleurs, migraines, tremblements…

Ces séquelles sont loin d'être exceptionnelles : 70 % des fulgurés voient leur santé durablement affectée par la décharge. *« Entre les chocs électrique, thermique et acoustique, les effets d'un coup de foudre peuvent rejoindre de nombreuses pathologies existantes, traumatologique bien sûr, mais aussi cardiologique, hématologique, urinaire, digestive, dermatologique, ophtalmique ou ORL… Cela dépend vraisemblablement du trajet emprunté par la foudre pour traverser le corps* », explique Rémi Foussat. Les symptômes immédiats, signes d'un choc violent, sont transitoires et disparaissent — ou évoluent — dans les quatre à six heures après l'accident. *« Leur physiopathologie est relativement bien connue, de la même façon que pour les troubles neurologiques et psychologiques prolongés (atteinte de la motricité, stress post-traumatique, dépression), ou ceux dus à une lésion traumatique bien identifiée : un AVC avec nécrose du cerveau, une moelle épinière gonflée…* », poursuit le médecin. Le mystère reste total, en revanche, sur la classe des troubles neurologiques retardés, qui apparaissent des semaines ou des mois après l'accident et sont invisibles à tous les examens (scanner, IRM, électromyographie, échographie, etc.). *« Ce sont les plus handicapants et les plus étranges à court et long termes.* »

A. JAY L. MAHAJAN ET AL.

Ces motifs fractals caractéristiques laissés sur la peau par la foudre sont appelés figures de Lichtenberg.

C'est pour mieux les comprendre que Rémi Foussat a récupéré et analysé les échantillons d'urine et de sang des 14 d'Azerailles, quatre heures seulement après le coup de foudre, puis un an après. Avec Marie-Agnès Courty, géologue au CNRS spécialisée dans les plasmas de foudre, ils sont à la recherche de marqueurs invisibles de la foudre, dont la formation commence tout juste à être explorée par la recherche fondamentale. Et les premiers résultats dessinent une piste totalement inédite : des nanocomposites de plasma de foudre. *« Ce sont des agrégats de taille micrométriques faits de nanoparticules assemblées sous l'effet de la décharge,* explique la chercheuse. *Leur caractéristique et leur abondance sont des indicateurs du passage de la foudre dans un milieu conducteur.* »

Des traces de nanocomposites chez les patients fulgurés

L'hypothèse, que le duo est en passe de confirmer, est que la décharge laisserait ainsi sa trace dans l'organisme sous cette forme. Des nanocomposites ont en effet été retrouvés dans les échantillons d'urines et de sang des 14 d'Azerailles, y compris un an après. Si elle est difficile à prouver, c'est que ce type de molécules a aussi été retrouvé chez des personnes non fulgurées. *« Mais les compositions et les propriétés sont différentes dans les deux cas, notamment la résistance au temps et à la pression mécanique,* précise Rémi Foussat. *Les nanocomposites des patients non fulgurés ont été obtenus avec une énergie beaucoup plus faible et sont plus fragiles.* » Si la piste est solide, *« il faudrait 800 à 2000 personnes pour atteindre une valeur biostatistique suffisante pour établir le lien entre ces particules et les troubles neurologiques*

PRÉVENTION

Comment échapper aux éclairs

Surtout ne jamais courir ! Plus l'écart entre les jambes est grand, plus la tension reçue risque d'être importante. En cas de temps orageux, il convient de s'abriter dans une maison ou dans une voiture, en prenant soin de fermer les fenêtres. Si cela est impossible, il faut bien sûr s'éloigner des arbres et de toute structure métallique (pylônes, grilles, clôtures…), mais aussi se tenir à au moins 3 mètres des autres personnes présentes. Sans abri à proximité, le mieux est de s'accroupir en posant les pieds sur une matière isolante (ciré, sac à dos ou corde…), et attendre que l'orage passe.

TÉMOIGNAGE

Pianiste par accident

Tony Cicoria a 42 ans lorsqu'il est victime de la foudre en 1994. Depuis, *« ma tête est inondée de musique qui semble venir de nulle part »*, raconte cet ex-chirurgien orthopédiste devenu pianiste-compositeur. Outre l'irrépressible envie d'écouter et de jouer du piano qui se déclare trois semaines après l'accident, il se décrit comme possédé par des morceaux originaux prenant forme dans son cerveau. *« Chaque fois que je m'asseyais pour m'exercer au piano, la musique commençait à jouer dans ma tête comme un enregistrement. »* Une obsession inattendue pour cet amateur de rock and roll qui n'a reçu que quelques leçons de musique lorsqu'il avait 7 ans. Presque trente ans plus tard, il continue de se produire lors de récitals où il donne à entendre ses *« sonates à l'éclair »*. Ce cas de syndrome du « savant acquis » généré par la foudre semble rejoindre les quelques dizaines de cas similaires documentés après des traumatismes crâniens « classiques ».

WSKG PUBLIC MEDIA

Touché par la foudre en 1994, Tony Cicoria a depuis développé de façon inattendue des capacités musicales. Chirurgien orthopédiste, il est devenu pianiste-compositeur.

Dans les deux cas, les neurones agressés libéreraient en mourant une forte concentration de neurotransmetteurs déclenchant une réorganisation des circuits cérébraux susceptibles de faire jaillir de nouvelles compétences ciblées. Des aptitudes exceptionnelles — artistiques, linguistiques ou mathématiques —, peuvent ainsi survenir. Un coup de chance neuronal, étant entendu que les traumatismes crâniens induisent plus de handicaps que de superpouvoirs.

retardés. » Mais il y a de quoi être intrigué par cette découverte. *« Elle suggère que les fulgurés présentent des lésions nanoscopiques qui sont encore invisibles avec les outils diagnostiques modernes »*, éclaire Rémi Foussat.

Pour creuser cette piste, la poignée de kéraunopathologistes en France est en train de créer l'Imek, l'institut de médecine environnementale kéraunique, au CHU de Toulouse, tandis qu'une consultation réservée aux fulgurations s'est ouverte au centre Henri-Mondor d'Aurillac. En cas de coup de foudre cet été, c'est donc là qu'il faut s'adresser*. *« C'est important que nous soyons prévenus le plus vite possible. Il y a un intérêt public à mieux connaître les troubles générés par la fulguration, mieux mesurer l'ampleur des séquelles possibles, former les professionnels et améliorer la prise en charge des patients »*, précise Rémi Foussat. De fait, en l'absence de cause identifiée par la médecine, les victimes souffrant de troubles retardés parfois durables ont toutes les peines du monde à faire reconnaître leur handicap auprès des assurances.

475 000
impacts de foudre sont relevés en moyenne par an en France.

60 à 100
le nombre estimé de victimes de la foudre en France chaque année.

70 %
des fulgurés voient leur santé durablement affectée par la décharge.

Toujours est-il que l'un des objectifs est désormais d'explorer les effets potentiels des nanocomposites sur le corps humain. Selon les chercheurs, l'hypothèse que des retombées atmosphériques puissent ainsi avoir un impact important sur la santé n'est pas à exclure. Des études ont d'ailleurs récemment démontré qu'un temps orageux favorisait et accentuait l'apparition de crises d'asthme, y compris chez des personnes sans antécédents. *« Des changements météorologiques pourraient être associés avec d'autres pathologies d'urgence. Il faut explorer si les orages provoquent une augmentation de pathologies calcifiantes comme les calculs rénaux ou les infarctus dus à des caillots sanguins, ce qui rejoindrait très bien la problématique de ces nanocomposites retrouvés dans le sang et les urines »*, détaille Rémi Foussat.

Plus vertigineux encore : les questions de santé révélées par les fulgurés et la mise en évidence de ces nanocomposites dans le vivant sont aussi en passe d'ouvrir un champ de recherche, selon Marie-Agnès Courty : *« Comprendre la dynamique des nanoéléments qui composent et traversent le vivant pourrait bien forcer un changement de paradigme en biologie »*, prévient-elle. ■

* Centre hospitalier Henri-Mondor d'Aurillac, service de médecine d'urgence, 50, avenue de la République, 15000 Aurillac. Tél. : 04.71.46.56.56.

Apnée du sommeil : la kiné pour muscler la langue

Une équipe de praticiens propose une rééducation du muscle de la bouche afin de dégager les voies respiratoires obstruées à l'origine de ce trouble du sommeil. Reportage dans une clinique spécialisée à Bordeaux.

Retrouver un sommeil réparateur en… musclant sa langue. Surprenante, cette approche est utilisée dans la nouvelle clinique Bel Air à Bordeaux, dans la prise en charge des patients atteints du syndrome d'apnées et hypopnées obstructives du sommeil (SAHOS). La démarche consiste à muscler régulièrement cet organe composé de dix-sept muscles par des exercices adaptés dits de thérapie myofonctionnelle, une technique spécialisée peu pratiquée en France car encore peu enseignée à ce jour. « *Cette kinésithérapie est pourtant un véritable traitement,* insiste d'emblée le Dr Marc Sapène. *C'est pourquoi ici les patients voient très tôt les rééducateurs formés à ces techniques, ce qui permet de les rendre actifs dans leur prise en charge.* »

Le pneumologue a créé il y a près de dix ans le Pôle d'exploration des apnées du sommeil (PEAS) avec un confrère cardiologue, Vincent Puel, pour mieux accompagner les personnes touchées par ce syndrome, décrit pour la première fois dans les années 1970 par un neurologue marseillais, Christian Guilleminault. Ici, une dizaine de spécialistes (pneumologues, cardiologues, kinésithérapeutes, diététiciennes, généralistes, techniciens du sommeil, psychiatres, infirmières, dentistes, orthodontistes, chirurgiens…) interviennent de manière concertée en visant un objectif : une prise en charge sur mesure, adaptée au profil de chacun, selon les circonstances de découverte des apnées. Le ronflement est par exemple un motif fréquent de consultation, mais il est loin d'être systématique. Parfois, « *la maladie se révèle par une complication cardio-vasculaire ou la survenue d'une syncope vagale* », détaille Vincent Puel qui a récemment mis sur pied avec quatre autres centres (1) le premier registre répertoriant ces malaises et incluant 56 patients.

La gravité des apnées du sommeil découle des microréveils nocturnes, dont les personnes concernées n'ont pas forcément conscience. Si elles rap-

PATHOLOGIES

Des microréveils aux conséquences graves

Complications cardio-vasculaires, diabète de type 2 (non insulino-dépendant), accidents de la route, démence, Parkinson, dépression, glaucome… La liste des conséquences des apnées du sommeil est longue. Tout part d'un manque d'oxygène dans le sang dû aux pauses respiratoires répétées. Celles-ci sont alors responsables de microréveils qui provoquent, par l'activation du système dit sympathique, la sécrétion d'hormones de stress (cortisol, adrénaline), à l'origine de mécanismes inflammatoires (stress oxydatif) lésant les parois des vaisseaux et des cellules.

BURGER/PHANIE

Jusqu'à présent, la prise en charge des apnées obstructives du sommeil repose sur des dispositifs contraignants — tel ce port d'un masque nasal qui apporte de l'air sous pression — et que nombre de patients finissent par abandonner.

portent des épisodes de somnolence et de fatigue dans la journée, dont le retentissement sur la vie quotidienne est évalué par les médecins à l'aide de différentes échelles et questionnaires (tests de Berlin, d'Epworth, de Nijmegen), l'impact va bien au-delà de la qualité de vie : les apnées occasionnent à plus long terme d' autres conséquences potentiellement graves *(lire l'encadré ci-contre)*.

De nombreux facteurs en cause dans son apparition

La liste des facteurs qui favorisent les apnées du sommeil est, là encore, impressionnante : surpoids, volumineuses amygdales et végétations, anomalies morphologiques de la mâchoire, allergies, obstruction nasale, sommeil sur le dos, vieillissement... Autant de raisons qui augmentent le risque de blocage de l'air lors de son passage dans les voies respiratoires. Car, pendant le sommeil, tout le corps est relâché, y compris les muscles dilatateurs du pharynx, des tissus déjà mous et reliés aux muscles de la langue. Or, si la langue, peu tonique, mal positionnée ou mal adaptée à la cavité buccale, vient en plus s'étaler dans l'arrière-gorge, l'air ne passe plus du tout et c'est l'apnée. Mais, bonne nouvelle, cet organe qui vieillit mal et a tendance à s'infiltrer de graisse avec le temps, peut donc aussi se remuscler. Petite séance de gymnastique linguale : « *Tirez bien la langue, en bas, en haut, comme si vous vouliez atteindre votre nez, faites-la claquer vers le palais, poussez-la sur votre doigt devant votre bouche* », détaille Méryl Manoukian, kinésithérapeute spécialisée au PEAS. Ce matin, elle passe de chambre en chambre afin de sensibiliser les personnes hospitalisées la veille pour un enregistrement complet du sommeil. C'est en fait la seule manière d'objectiver un syndrome d'apnées du sommeil : compter les pauses respiratoires complètes

1 milliard
Le nombre d'apnéiques dans le monde, dont 50 % l'ignorent ; au moins 30 % des plus de 65 ans ; deux fois plus d'hommes que de femmes.

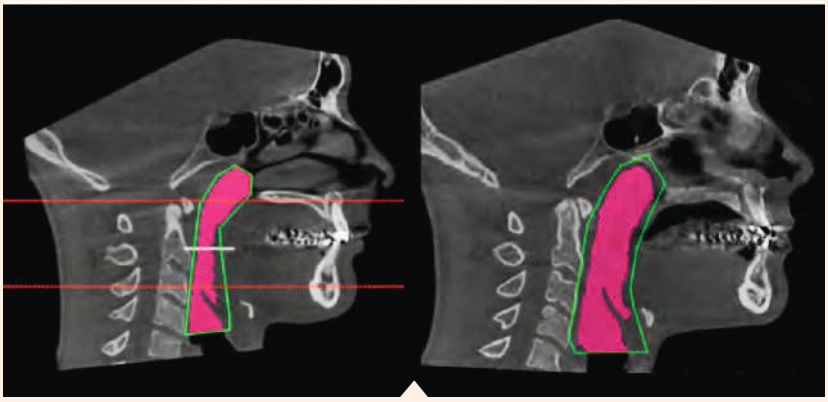
10 à 30 secondes
La durée des pauses respiratoires, survenant au moins cinq fois par heure de sommeil, pour diagnostiquer les apnées du sommeil.

CHIRURGIE

Avancer la mâchoire permettrait de mieux respirer

Parfois, en cas de malposition anatomique des os de la mâchoire (des maxillaires trop en arrière) et d'échec (ou intolérance) des traitements classiques, le recours au scalpel peut aider. *« C'est une chirurgie morphologique mais non esthétique qui consiste à avancer de quelques millimètres la mâchoire pour ouvrir les voies aériennes supérieures et adapter le contenu, la langue, au contenant, la "boîte à langue"* », décrit Mathieu Laurentjoye, chirurgien maxillo-facial à Bordeaux. Un geste qui concerne plutôt des patients jeunes, de poids normal et surtout motivés. Nécessitant toujours une collaboration étroite en amont avec un orthodontiste, l'intervention se prépare un an environ avant le geste chirurgical avec le port de bagues.

Les suites opératoires imposent des contraintes comme une alimentation mixée et l'arrêt du sport pendant un mois et demi. Sans oublier, là encore, une rééducation linguale régulière, au moins deux fois par jour. *« Ce geste, le seul 100 % curatif, reste une chirurgie lourde et méconnue qui ne fait pas encore l'objet d'un consensus précis ; des études seraient nécessaires* », conclut le chirurgien.



PR MATHIEU LAURENTJOYE

Les voies aériennes respiratoires (en rouge) sont agrandies après l'intervention (à droite) qui consiste à avancer de quelques millimètres le menton.

(apnées) ou partielles (hypopnées) et en apprécier la sévérité par l'index d'apnée hypopnée (IAH) par heure de sommeil. Considéré comme normal entre 0 et 5 (c'est-à-dire entre zéro et cinq épisodes d'apnées par heure de sommeil), celui-ci peut dépasser 30. Si dans les formes légères, la rééducation linguale seule peut suffire, dans les cas plus sévères, il faut avoir recours à des traitements mécaniques. Comme le port de gouttières dentaires (orthèses d'avancée mandibulaire) ou d'un masque (facial, nasal ou narinaire) qui apporte de l'air sous pression propulsé par une machine posée à côté du lit. Un traitement efficace s'il est suivi au moins quatre heures d'affilée, mais très contraignant pour les patients et souvent abandonné. *« 20 % des patients ne font des apnées que sur le dos,* signale Pierre Broussin, médecin généraliste au PEAS. *Avant de prescrire la machine, il y a des alternatives, des thérapies dites positionnelles souvent oubliées comme la boule de tennis cousue sur le pyjama ou le port nocturne d'un sac à dos mou pour éviter de se retrouver sur le dos.* » « *En musclant la langue et en réapprenant à respirer par le nez, la rééducation permet aussi souvent d'opter pour un masque nasal, moins inconfortable que le facial* », détaille Méryl Manoukian. Qui poursuit : « *Des études ont montré que vingt minutes par jour de rééducation linguale pendant six mois permettent de réduire l'IAH de 50 %.* » Et la kinésithérapeute, coautrice avec une psychiatre du service, Kelly Guichard, d'un récent ouvrage (2), d'insister sur la nécessité absolue de sa régularité : « *Faire ses exercices dix minutes dès que l'on est au calme, en voiture, sous la douche…* », conseille-t-elle sans relâche. ■

Sylvie Riou-Milliot

MÉRYL MANOUKIAN

« Vingt minutes par jour de rééducation linguale pendant six mois permettent de réduire les apnées de 50 % »

Méryl Manoukian, kinésithérapeute spécialisée au Pôle d'exploration des apnées du sommeil, à la clinique Bel Air de Bordeaux

(1) Grenoble, Marseille, Monaco, Saint-Étienne.
(2) *Faire face aux ronflements et aux apnées du sommeil*, Éditions Ellipses, 2022.

La résistance au paludisme fait courir plus vite

Des chercheurs ont découvert qu'une mutation génétique augmentant la résistance au parasite présente chez les populations africaines renforce également le tendon d'Achille.

Si certains athlètes d'origine ouest-africaine sont capables de réaliser des performances exceptionnelles lors de compétitions d'athlétisme, c'est peut-être parce qu'ils sont… plus résistants au paludisme ! De manière totalement fortuite, des chercheurs américains et japonais ont en effet découvert que les populations adaptées depuis des millénaires pour résister au parasite causant le paludisme ont également un tendon d'Achille très tonique. Mais quel rapport entre les deux ?

L'explication, publiée en juin dans la revue *Science Translational Medicine*, est à chercher du côté de la génétique. Une mutation s'est en effet répandue dans les populations d'Afrique de l'Ouest, au point d'être aujourd'hui six fois plus présente chez celles-ci que dans les populations européennes. Elle modifie la protéine membranaire Piezo1, provoquant un changement de la forme des globules rouges qui les rend plus résistants à l'infection par *Plasmodium falciparum*. Au cours d'une expérience, les chercheurs ont introduit une mutation comparable du gène de Piezo1 chez des souris. Celles-ci sont bien devenues beaucoup plus résistantes au paludisme, mais elles ont aussi présenté des capacités physiques inédites. Elles parvenaient à effectuer des sprints à la vitesse de 17,2 m/s, soit largement plus que les 15,5 m/s habituels, et à faire des sauts de 45 cm, contre 30 cm pour les souris non modifiées !

BEN STANSALL / AFP

Le sprinteur jamaïcain Usain Bolt est détenteur des records du monde des 100 m, 200 m et relais 4 x 100 m, et de huit médailles d'or aux JO.

Explication : la protéine Piezo1 modifie la sensibilité des cellules à la pression, notamment celles des tendons qui subissent de très fortes tensions au cours des contractions musculaires. Les chercheurs ont pu mesurer que le tendon d'Achille des souris mutées, plus large et plus élastique, pouvait dès lors accumuler plus d'énergie à l'étirement.

C'est le deuxième gène favorisant la vitesse identifié

Chez l'être humain, la mutation de la protéine Piezo1 pourrait ainsi expliquer pourquoi des sportifs issus de certaines régions du monde réalisent des performances exceptionnelles, estiment les chercheurs. Pour en avoir le cœur net, ils se sont alors penchés sur le génome des 91 athlètes jamaïcains ayant participé à des compétitions internationales de saut ou de course (jusqu'à des distances de 400 m). En Jamaïque en effet, environ 75 % de la population sont des descendants d'esclaves déportés d'Afrique de l'Ouest sur cette île des Caraïbes à partir du XVI^e siècle. Les chercheurs ont bien observé que 54 % de ces athlètes portaient la mutation, alors qu'elle n'est présente que chez un tiers des étudiants jamaïcains.

C'est la deuxième fois que l'on découvre qu'un gène favorise la vitesse : il y a une vingtaine d'années, des chercheurs avaient déjà montré qu'une forme particulière du gène de la protéine musculaire ACTN3 est plus fréquente chez les sprinteurs. ■

Pierre Kaldy

Vive les marinades de l'été !

La saison estivale s'accorde idéalement avec ces préparations. Mais pour que la fête soit assurée, quelques précautions sont nécessaires afin de déguster poissons et viandes en toute tranquillité.

Carpaccio, ceviches, brochettes épicées… Les marinades sont devenues les incontournables de la cuisine estivale. Autrefois utilisées pour conserver le gibier, elles parfument crustacés et poissons crus et apportent de nouvelles saveurs aux grillades au barbecue ou à la plancha. Certaines recettes ont fait le tour du monde comme le poulet tikka indien composé d'une marinade aux épices et au yaourt ou le poisson cru à la tahitienne. Toutefois, leur préparation nécessite des règles d'hygiène à respecter afin d'éviter d'éventuelles intoxications alimentaires.

Leur acidité attendrit la viande

Trois ingrédients de base sont essentiels à une marinade : un élément gras (huile d'olive, lait de coco…), un autre aromatique (fines herbes, épices…) et un produit acide (vinaigre, citron, moutarde, bière…). L'acidité de la marinade permet d'attendrir les chairs animales, qu'elles soient dégustées en carpaccio, en ceviche ou cuites par la chaleur, car elle provoque une dénaturation des fibres protéiques. Le temps de marinade doit être adapté au type d'aliment et à son épaisseur. On compte en général de 1 à 2 heures pour le poulet ou

1/3
d'ingrédient acide
(jus de citron, yaourt, vinaigre, bière, etc.),
1/3 d'huile
et 1/3 d'aromates
(fines herbes et épices)
sont les proportions idéales pour composer une marinade.

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR - LA RECHERCHE

CEVICHE Poisson ou fruits de mer crus « cuits » à froid dans une marinade acide, généralement à base de citron vert, et servis froids.

PROBIOTIQUES Micro-organismes vivants (bactéries ou levures) qui entretiennent le microbiote intestinal. Ils peuvent être ajoutés à certains produits alimentaires (yaourts, bière, etc.).

AMINES HÉTÉROCYCLIQUES AROMATIQUES (AHA) Famille de substances qui se forment lors de la cuisson de viande et de poisson et qui sont également présentes dans la fumée de cigarette ou les gaz d'échappement.

le porc, de 3 à 4 heures pour du bœuf ou de l'agneau, voire 24 à 48 heures pour du gibier. Le poisson et les fruits de mer reposent entre 30 minutes à 1 heure au réfrigérateur. On évitera les marinades prêtes à l'emploi industrielles, parfois trop sucrées et pourvues d'additifs.

Des probiotiques contre les pathogènes

Des travaux (1) montrent qu'une préparation à base de jus de raisin et d'oignons, dans laquelle on a ajouté du lait écrémé qui contient des probiotiques *(Lactobacillus casei, L. acidophilus, L. rhamnosus)*, aurait une activité antimicrobienne contre des bactéries pathogènes telles *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, présentes dans la viande crue, et pouvant être à l'origine d'intoxications alimentaires parfois graves. Selon les auteurs, les probiotiques produisent des métabolites (acides organiques, peroxyde d'hydrogène, peptides) qui inhiberaient l'action des bactéries en endommageant, entre autres, leur membrane cellulaire et le mécanisme de production d'énergie. Toutefois, il est recommandé de ne pas consommer une marinade ayant servi à la viande sans qu'elle n'ait été cuite séparément (2).

Congeler par précaution le poisson cru

Le poisson cru peut être porteur de l'*Anisakis*, un parasite présent naturellement dans l'environnement marin et responsable de troubles gastro-intestinaux (douleurs abdominales, nausées, vomissements, diarrhées, etc.), voire d'allergie. Très prisés, les ceviches doivent donc être préparés avec précaution. Le parasite étant sensible aux températures négatives, il vaut toujours mieux congeler le poisson avant de le faire mariner (-18 °C pendant au moins sept jours), afin de rendre les larves d'*Anisakis* inactives (3).

La marinade empêche la formation de composés néfastes lors de la cuisson

L'ajout de 1 % de sauce soja ou de 10 % de sucre (ou des deux en association) dans une marinade inhiberait la formation de COP (produits d'oxydation du cholestérol), libérés lors de la cuisson au barbecue ou au four et pouvant endommager les cellules, selon une étude taïwanaise (4). Par ailleurs, divers composés de la marinade comme les polyphénols de l'huile d'olive et les flavonoïdes du jus de citron (deux antioxydants), les terpènes (hydrocarbures aux propriétés odoriférantes) des aromates (thym, romarin, sauge) ou encore les composés sulfurés des oignons et de l'ail, réduiraient la formation d'amines hétérocycliques aromatiques (AHA), des composés cancérogènes qui se forment lors de la cuisson à haute température comme le barbecue (5).

Un possible effet protecteur contre le cancer

Mariner la viande de bœuf dans un mélange d'huile d'olive et de jus de raisin, riche en composés phénoliques antioxydants (le resvératrol et l'hydroxytyrosol), pourrait être une solution pour contrecarrer les effets cancérogènes probables de la viande rouge, principalement pour le colon et le rectum. Cette recette permettrait de réduire la formation d'aldéhydes, des composés cancérogènes induits par le fer héminique de la chair animale. L'expérience menée sur des rongeurs présentant des lésions du côlon ainsi que sur des volontaires sains demande néanmoins à être confirmée (6). ■

Sylvie Boistard @syboistard

SARAH MONY Diététicienne-nutritionniste, à Saint-Cloud

Les marinades aux épices allègent les barbecues

« La marinade dite sèche consiste à enduire blanc de poulet, magret de canard, poissons et crustacés avec des épices ajoutées à un peu d'huile d'olive pour en rehausser la saveur. La piperine du poivre noir multiplie les effets anti-inflammatoires du curcuma. La cannelle, le safran ou le gingembre facilitent la digestion. Les marinades de légumes au cumin ou aux herbes fraîches comme la coriandre allègent aussi les barbecues tout en ravissant les papilles. »

(1) Marination liquids enriched with probiotics and their inactivation effects against food-borne pathogens inoculated on meat, Gargi A. et al, *Meat Science*, 2021.

(2) Cuisson au barbecue, recommandations pour prévenir les risques d'intoxication alimentaire et d'exposition aux substances chimiques, Anses, 2013.

(3) Anisakis spp. et Pseudoterranova spp, fiche de description de danger biologique transmissible par les aliments, Anses, 2017.

(4) Formation of Cholesterol Oxidation Products in Marinated Foods during Heating, Lee HW. et al, *J Agric Food Chem*, 2006.

(5) Heterocyclic Aromatic Amines in Cooked Meat Products: Causes, Formation, Occurrence, and Risk Assessment, Gibis M., Comprehensive Reviews in *Food Science and Food Safety*, 2016.

(6) Targeting colon luminal lipid peroxidation limits colon carcinogenesis associated with red meat consumption, Martin O. et al, *Cancer Prev Res*, 2018.

15 questions pour... passer l'été en bonne santé

SHUTTERSTOCK

Bien manger, dormir suffisamment, se protéger contre le soleil... Pendant les vacances, pas question de lâcher prise sur la santé ! Encore faut-il distinguer le vrai du faux.

Par Émilie Gillet, avec Agence Forum News

1 Certaines vaccinations sont obligatoires pour aller à l'étranger

☐ VRAI ☐ FAUX

2 Contre le mal des transports, mieux vaut voyager à jeun

☐ VRAI ☐ FAUX

3 Uriner sur une piqûre de méduse permet de stopper la douleur

☐ VRAI ☐ FAUX

AFP

4 Le moustique-tigre est présent dans 67 départements métropolitains

☐ VRAI ☐ FAUX

5 Pour récupérer après une nuit blanche, une grasse matinée est plus utile qu'une sieste

☐ VRAI ☐ FAUX

6 La mélatonine permet de récupérer d'un *jet lag*

☐ VRAI ☐ FAUX

7 Un verre de whisky contient plus d'alcool qu'un verre de rosé.

☐ VRAI ☐ FAUX

SHUTTERSTOCK

8 La plancha est un mode de cuisson plus sain que le barbecue

☐ VRAI ☐ FAUX

9 La lucite estivale est une infection sexuellement transmissible

☐ VRAI ☐ FAUX

10 Pour éviter une hydrocution, il ne faut pas nager après avoir mangé

☐ VRAI ☐ FAUX

11 Les UVB sont plus dangereux que les UVA

☐ VRAI ☐ FAUX

12 Les crèmes solaires dites haute protection filtrent 100 % des UV

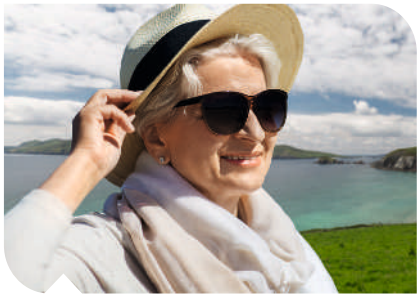
☐ VRAI ☐ FAUX

13 Le mélanome est le plus agressif des cancers de la peau

☐ VRAI ☐ FAUX

14 Le pigment responsable du bronzage s'appelle la mélamine

☐ VRAI ☐ FAUX



SHUTTERSTOCK

15 Plus les verres de lunettes sont foncés, plus ils protègent les yeux contre les UV

☐ VRAI ☐ FAUX

Réponses page suivante ▶

72H POUR DÉCOUVRIR ET PRÉSERVER LES TRÉSORS DE NOTRE PLANÈTE BLEUE

GRAND OCEAN

DU 7 AU 9 OCT. 2022

À LA CITÉ DE LA MER, CHERBOURG-EN-COTENTIN
À SAINT-VAAST-LA-HOUGUE

& EN DIGITAL

www.grandocean-event.com

Partenaires Officiels

CHERBOURG en Cotentin

leCotentin
COMMUNAUTÉ D'AGGLOMÉRATION

NAVAL GROUP

Partenaires Associés

LA MANCHE
LE DÉPARTEMENT

RÉGION
NORMANDIE

Partenaires

CMN

EDF

SFA
Agitateur d'eau

Organisé par

Les Echos
Le Parisien
ÉVÉNEMENTS

SCIENCES AVENIR
La Recherche

15 réponses... pour passer l'été en bonne santé

1 Certaines vaccinations sont obligatoires pour aller à l'étranger

VRAI. Certains pays d'Afrique subsaharienne exigent une vaccination contre la fièvre jaune. D'autres vaccins (rage, méningocoques, hépatite A, tuberculose...) sont fortement recommandés ailleurs dans le monde. Faites-vous vacciner au moins 15 jours avant votre départ et vérifiez aussi si la vaccination contre le Covid-19 est obligatoire ou non.

2 Contre le mal des transports, mieux vaut voyager à jeun

FAUX. Avant un trajet en voiture ou avion, mieux vaut avoir avalé un petit en-cas car la sensation de faim et l'hypoglycémie peuvent amplifier la nausée liée au mal des transports. Attention cependant aux aliments et boissons trop acides, mieux vaut privilégier ceux qui calent l'estomac sans l'irriter (eau, gâteaux secs, pain, pâtes, banane, pomme...)

3 Uriner sur une piqûre de méduse permet de stopper la douleur

FAUX. L'urine n'a aucun effet antalgique ! L'idéal est de rincer abondamment avec de l'eau de mer, sans frotter. Puis retirer les filaments urticants en appliquant du sable fin et en le grattant délicatement avec un objet, avant de rincer une seconde fois à l'eau salée. Ensuite, on peut désinfecter la plaie et soulager avec une crème contre les brûlures ou contre les piqûres.

4 Le moustique-tigre est présent dans 67 départements métropolitains

VRAI. Apparu en 2004 sur le territoire métropolitain, le moustique *Aedes albopictus* originaire d'Asie s'est depuis installé dans 67 de nos 96 départements. En tant que vecteur de maladies telles que la dengue, le chikungunya ou le Zika, il est surveillé de près. Pour l'instant, seulement une soixantaine de cas autochtones (chez des personnes n'ayant pas voyagé) ont été documentés en métropole.

5 Pour récupérer après une nuit blanche, une grasse matinée est plus utile qu'une sieste

FAUX. La grasse matinée risque de décaler votre rythme veille-sommeil et d'induire à moyen terme ce que l'on appelle un retard de phase (une sorte de *jet lag* perpétuel). Si vous êtes très fatigué, mieux vaut donc faire une sieste en début d'après-midi, sans dépasser un cycle complet de sommeil (40 à 60 minutes environ).

6 La mélatonine permet de récupérer d'un *jet lag*

VRAI. Lorsqu'on change de fuseau horaire, l'idéal est de se caler dès l'arrivée à destination sur les heures locales de repas et de sommeil, de s'exposer à la lumière du jour et d'être actif physiquement pour « reprogrammer » l'horloge biologique. La mélatonine peut aussi être utile, à raison de 0,5 à 2 mg par jour (selon le consensus médical) à prendre tôt le matin si vous avez voyagé vers l'ouest, ou en début de soirée pour les voyages vers l'est.

7 Un verre de whisky contient plus d'alcool qu'un verre de rosé

FAUX. On pourrait le croire car toutes les boissons n'ont pas le même degré d'alcool, les vins comptent entre 12 et 14° alors qu'un whisky est plutôt autour de 45°. Mais en réalité tous les verres contiennent la même quantité d'alcool, parce qu'ils ne font pas la même taille selon la boisson consommée : on considère ainsi qu'un verre de vin de 10 cl contient à peu près la même quantité d'alcool pur qu'un verre de whisky de 2,5 cl et qu'une bière de 25 cl.

8 La plancha est un mode de cuisson plus sain que le barbecue

VRAI. Lors de la cuisson au barbecue, les graisses alimentaires peuvent entrer en contact avec les braises et, en brûlant, dégager des composés chimiques cancérogènes. Ce qui n'arrive pas lors d'une cuisson à la plancha, théoriquement inclinée et équipée d'un bac récupérant les graisses.

9 La lucite estivale est une infection sexuellement transmissible

FAUX. La lucite estivale est une réaction allergique cutanée, le plus souvent bénigne, qui survient après une exposition prolongée au soleil. Elle se manifeste par des petits boutons qui démangent. Tant qu'ils persistent, mieux vaut rester à l'ombre ! Et pour éviter une nouvelle crise, ne pas s'exposer trop longtemps et utiliser de la crème solaire.

10 Pour éviter une hydrocution, il ne faut pas nager après avoir mangé

FAUX. L'hydrocution est liée à un choc thermique. Cette syncope survient le plus souvent lorsqu'on s'immerge brusquement dans une eau fraîche après une longue exposition au soleil ou un trajet dans une voiture non climatisée par exemple. Pour l'éviter, il faut entrer dans l'eau progressivement, en se mouillant d'abord les bras, le torse et la nuque.

11 Les UVB sont plus dangereux que les UVA

FAUX. Tous sont nocifs pour la peau. Les UVA pénètrent en profondeur et provoquent vieillissement cutané et cancers. Les UVB endommagent plutôt les couches superficielles, causant brûlures et cancers. Comme ils sont les principaux responsables des coups de soleil, l'indice des crèmes solaires correspond à la protection contre les UVB.

12 Les crèmes solaires dites haute protection filtrent 100 % des UV

FAUX. Cela explique d'ailleurs l'interdiction de la mention « écran total » depuis 2007. Il existe quatre catégories et huit indices de protection (ou FPS) : les indices 6 et 10 donnent une protection faible ; à 15, 20 et 25, c'est une protection moyenne ; les indices 30 et 50 correspondent à une haute protection et 50+ à une très haute protection. Pour connaître la proportion d'UVB non filtrés par une crème, il faut diviser 100 % par l'indice. Par exemple, avec une crème indice 20, la quantité d'UV transmise à la peau est de 100/20, soit 5 %.

13 Le mélanome est le plus agressif des cancers de la peau

VRAI. Huit fois moins fréquent que les carcinomes cutanés, le mélanome est considéré comme un cancer dangereux car il a tendance à former facilement des métastases (celles-ci n'étant pas dues aux UV). En 2018 en France, 15 500 nouveaux cas de mélanomes et 1980 décès ont été recensés. C'est l'un des cancers dont l'incidence a le plus augmenté depuis 2010.

14 Le pigment responsable du bronzage s'appelle la mélamine

FAUX. C'est la mélanine, avec un n ! La mélamine, elle, est une résine plastique qui entre dans la composition de certaines vaisselles incassables qu'il est fermement déconseillé de mettre au micro-ondes (risque de passage de substances toxiques dans la nourriture).

15 Plus les verres de lunettes sont foncés, plus ils protègent les yeux contre les UV.

FAUX. En Europe, dès lors qu'une paire de lunettes de soleil arbore le marquage CE, elle est traitée avec un filtre absorbant 100 % des UV. Cela peut aussi être le cas de verres transparents. Quant à l'opacité des verres, elle est utile uniquement contre l'éblouissement. Gare aux lunettes fantaisie sans marquage CE et aux verres orange, bleu, rose... : elles ne protègent ni contre les UV ni contre l'éblouissement.

SOLGAR
Since 1947

Solgardez votre beauté

Découvrez

PEAU, ONGLES, CHEVEUX

Le flacon d'or Solgar contient des acides aminés, des minéraux, de la vitamine C et du zinc pour la beauté de la peau, des ongles et des cheveux.

En pharmacies et magasins bio

solgar.fr

Pour votre santé, mangez au moins cinq fruits et légumes par jour. www.mangerbouger.fr

Conception : jdcg.fr - © Adobe Stock

FRANÇOIS DESSET

C'est notamment en comparant un texte inscrit dans deux systèmes d'écriture — cunéiforme et élamite linéaire — sur des vases en argent datés des XX^e^ et XVIII^e^ siècles avant J.-C. que l'archéologue François Desset a pu déchiffrer le second système.

Écriture

Un nouveau berceau découvert en Iran

Contrairement à une croyance répandue, la naissance de l'écriture ne s'est pas faite uniquement en Mésopotamie. Le déchiffrement récent de l'élamite linéaire, un système d'écriture du IIIe millénaire avant J.-C., redessine complètement l'histoire de son apparition.

Par Bernadette Arnaud @NarudaaArnaud

Tout juste deux cents ans après que Jean-François Champollion (1790-1832) a réussi l'exploit de décrypter les hiéroglyphes égyptiens, le déchiffrement d'une autre écriture plurimillénaire va marquer l'histoire de la compréhension des premiers textes par ses répercussions : il s'agit de celui de l'élamite linéaire, un système utilisé sur le plateau iranien dans l'ancien royaume d'Elam, entre la fin du IIIe millénaire et le début du IIe millénaire avant notre ère (2300-1880). D'abord annoncé en décembre 2020 *(lire* S. et A. *n° 887, janvier 2021)*, ce « craquage » au retentissement international vient d'être détaillé avec toutes ses clés dans un article scientifique publié en ce mois de juin dans une prestigieuse revue allemande*. En y exposant les conditions qui ont conduit au déchiffrement de l'élamite linéaire, ainsi que les détails de ce système d'écriture qui notait la langue élamite parlée sur le plateau iranien avant le persan (vieux perse), la publication allemande, véritable « Bible » des spécialistes du Proche-Orient ancien, consacre à sa façon les travaux de François Desset du laboratoire Archéorient-UMR 5133 (Lyon) et de l'université de Téhéran (Iran), et ceux de ses collègues Kambiz Tabibzadeh, Matthieu Kervran, Gian Pietro Basello et Gianni Marchesi. Personne avant eux n'avait réussi à percer tous les secrets des inscriptions en élamite linéaire, parmi les dernières à résister aux « nouveaux Champollion » avec celles en linéaire A crétois ou encore celles de la vallée de l'Indus.

Certes, depuis 1857 et la découverte sur la paroi rocheuse du site de Behistun (Iran) de l'inscription royale trilingue du roi perse Darius Ier présentant les versions d'un même texte rédigées en vieux perse, akkadien et élamite, on connaissait l'élamite par sa transcription à travers l'écriture cunéiforme.

Pendant des siècles, en effet, les signes cunéiformes avaient servi à noter plusieurs langues, qu'il s'agisse du sumérien, de l'akkadien (appelé babylonien au sud de la Mésopotamie, et assyrien au nord), de l'éblaïte, du hittite, du hourrite ou encore de l'élamite. Mais de l'écriture élamite linéaire, rien n'avait été déchiffré en dehors d'une dizaine de signes proposés par quelques savants entre 1900 et 1970 *(lire l'encadré p. 110)*.

Une particularité unique dans le monde du IIIe millénaire avant J.-C.

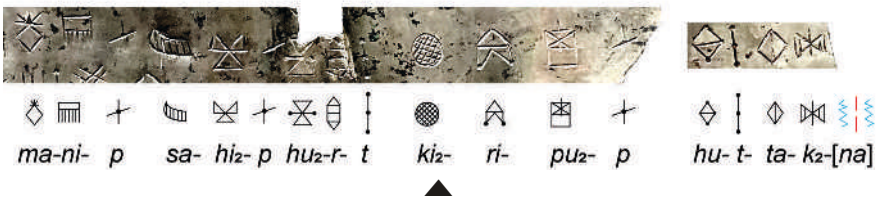
« *De premiers écrits en élamite linéaire avaient été découverts en 1903 sur l'antique site de Suse (Iran) mais nous étions incapables de lire ce qui y était inscrit depuis 4400 ans faute d'en connaître les clés !* », raconte François Desset. Or c'est leur compréhension qui a conduit au déchiffrement de cette écriture. Déchiffrement que le chercheur a débuté en 2017 et terminé en 2020, en pleine pandémie de Covid-19.

Contrairement au cunéiforme mésopotamien, qui est un système d'écriture mixte alliant des phonogrammes (signes transcrivant un son) à des logogrammes (signes transcrivant un mot), l'élamite linéaire présente la particularité, unique dans le monde du IIIe millénaire avant J.-C., d'être une écriture purement phonétique ou phonogrammatique (avec des signes notant des syllabes, des consonnes et des voyelles). À la base de ce déchiffrement, figure l'étude de 43 textes en élamite linéaire recueillis sur des sites archéologiques situés au sud-ouest de l'Iran — de l'antique ville de Suse, en passant par le Fars (avec la région de Kam-Firouz et la plaine de Marv Dasht, à proximité du célèbre site achéménide de Persépolis), ainsi qu'au sud-est du pays, à Shahdad et Konar Sandal, plus connu sous le nom de Jiroft.

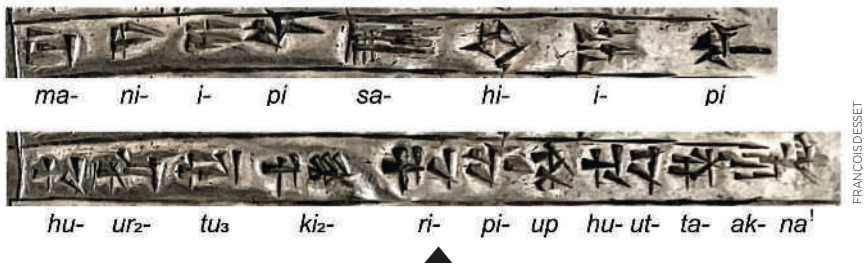
« *Pour travailler, nous avons divisé la quarantaine de textes dont nous disposions en sept corpus, en fonction des provenances et des époques, cette écriture ayant été utilisée de 2300 à 1880 avant J.-C. sous le règne de différents souverains et dynasties* », explique l'archéologue. Ces écrits se sont avérés être des inscriptions royales assez répétitives dédicacées à d'anciens dieux. Par exemple : « *Je suis [nom], le grand roi de [nom], le fils de [nom du père], j'ai fait cet objet pour [nom du dieu ou d'une personne]*. »

Le « moment eurêka » de ce déchiffrement par François Desset a eu lieu en 2018, grâce à la publication d'un corpus de huit textes, provenant de vases en argent appartenant à la collection Mahboubian, à Londres (Royaume-Uni), dits vases « kunanki », auxquels le chercheur a eu accès. Datés de 2000-1880 avant J.-C, ils avaient été trouvés dans des tombes royales de la région de Kam-Firouz. Ils présentaient des séquences de signes très répétitives et standardisées, où ont pu être repérés des signes servant à noter des noms. Ainsi ceux de deux souverains ayant régné vers 1950 avant J.-C. — Shilhaha *(si-l-ha-ha)* et Eparti II *(e-pa-r-ti)* —, de même que le patronyme de la principale divinité alors vénérée dans le sud-ouest de l'Iran, Napirisha *(na-pi-ri-sa)*, le « grand dieu » en langue élamite. À elles seules, ces lectures inédites

Une même prière transcrite dans deux systèmes d'écriture différents



Élamite linéaire. Sur le premier vase, celui d'Itatu Ier (XXe siècle avant J.-C.), ciselé dans le métal, figurait : *mani-p sah-ip hurt kere-p o-p(e) huta-k-na*



FRANÇOIS DESSET

Cunéiforme. Sur le second vase, celui de Sewe-palar-hûhpak (XVIIIe siècle avant J.-C.), incisé cette fois en cunéiforme sur deux lignes, se trouvait : *Ma- ni- i- pi sa- hi- i- pi* et : *Hu-ur- tu- ki- ri- pi- up hu- ut- ta- ak- na*

FRANÇOIS DESSET

« Tous les signes déchiffrés, soit 72, ont permis la lecture de 96,3 % des 1890 signes attestés sur les 43 textes connus à ce jour »

François Desset, chercheur associé au laboratoire Archéorient-UMR 5133 (Lyon) et à l'université de Téhéran (Iran)

permettaient d'identifier une dizaine de nouveaux signes d'un coup ! *(e, ha, l, pa, pi, r, ri, sa, ti)*. *« La découverte de ces documents a considérablement augmenté le nombre de textes à notre disposition et donc accru les possibilités de déchiffrement. Cela a été ma chance et l'élément déclencheur de tout ce processus »*, avoue François Desset.

30 nouveaux signes identifiés grâce à deux dédicaces

Cette étape passée, d'autres textes inscrits sur les vases en argent de la collection Mahboubian devaient se révéler également cruciaux pour la compréhension de l'élamite linéaire. *« Il s'agissait de deux dédicaces, une en écriture élamite linéaire dans un texte du roi Itatu Ier (vers 1980 avant J.-C.), l'autre, en écriture cunéiforme, dans un texte du roi Sewe-palar-hûhpak, un souverain contemporain d'Hammourabi, roi de Babylone, vers 1760 avant J.-C. »*, déclare François Desset. La même prière, avait en effet été retrouvée transcrite dans deux systèmes d'écriture *(voir l'illustration ci-contre)*. *« Grâce au texte de Sewe-palar-hûhpak daté du XVIIIe siècle avant J.-C. noté en cunéiforme, et sa comparaison avec des inscriptions royales en élamite linéaire du XXe siècle avant J.-C., nous avons compris qu'il s'agissait de prières identiques. Et ces textes hautement standardisés nous ont permis d'identifier 30 nouveaux signes et ainsi ouvrir de nouvelles portes dans le déchiffrement de l'écriture élamite linéaire »*, explique l'archéologue. Cette même prière *manip sah-ip hurt kere-p o-p(e) huta-k-na* signifiant : *« Puissent les mani (?) de bronze être réalisés pour les gens de la dévotion (le clergé). »*

« Dans la publication de juin, les clés de déchiffrement de l'élamite linéaire ont toutes été reproduites sous forme de tableau. Et en 13 étapes nous dévoilons tous les signes déchiffrés, soit 72 signes qui ont permis la lecture de 96,3 % des 1890 signes attestés sur les 43 textes connus à ce jour, résume François Desset. *L'ensemble de ces textes en élamite linéaire intégralement déchiffrés seront prochainement publiés avec leur traduction dans une collection de l'université de Bologne, en Italie »*, ajoute le spécialiste. Face à ces nouveaux travaux, Dominique Charpin, éminent assyriologue au Collège de France, à Paris, a déclaré : *« Il s'agit d'un travail de déchiffrement indubitablement solide et convaincant. »*

Mais pour François Desset, les choses n'en sont pas restées là. Le déchiffrement de l'élamite linéaire pourrait avoir des conséquences sur celui des tablettes proto-élamites, utilisées sur le plateau iranien entre 3300 et 3000 avant J.-C. D'après l'archéologue, les écritures proto-élamite et élamite linéaire ne seraient pas deux systèmes d'écriture ▸

TRANSCRIPTION

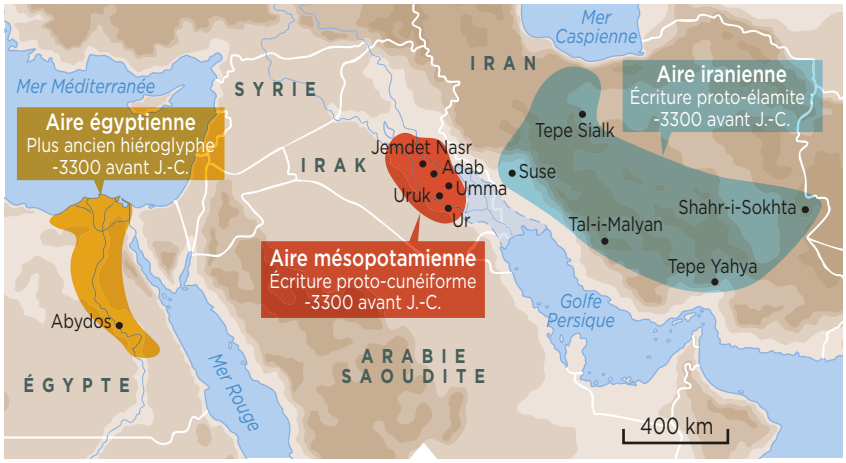
Une langue, des écritures

Il ne faut pas confondre langue (les sons parlés) et écriture (les signes visuels). Ainsi, un même système d'écriture peut être utilisé pour noter des langues différentes. L'alphabet latin permet actuellement de transcrire le français, l'anglais, l'italien tout comme le turc, par exemple. De la même façon, l'écriture cunéiforme des Mésopotamiens permettait de transcrire plusieurs langues comme l'akkadien (langue sémitique), le vieux perse (langue indo-européenne) ou bien encore l'élamite et le sumérien (isolats linguistiques). Inversement, une langue peut également être transcrite par différents systèmes d'écriture. Ainsi, le persan (une langue indo-européenne) s'écrit aujourd'hui aussi bien avec l'alphabet arabe en Iran — et parfois avec l'alphabet latin dans le surprenant phénomène du *fingilish*, mélange de persan et d'anglais —, qu'avec l'alphabet cyrillique au Tadjikistan, alors qu'il était noté avec un système cunéiforme à l'époque achéménide (520-330 avant J.-C., pour le vieux perse) ou avec l'alphabet araméen à l'époque sassanide (IIIe-VIIe siècles de notre ère, pour le moyen perse). Dans le cas de la langue élamite, elle était connue jusqu'à présent uniquement à travers l'écriture cunéiforme. *« Avec le déchiffrement de l'écriture élamite linéaire, nous avons désormais accès à cette langue à travers un système d'écriture probablement développé exprès pour elle et reflétant donc mieux les subtilités phonologiques de cette langue que l'écriture cunéiforme »*, précise l'archéologue François Desset.

MUSÉE DU LOUVRE / THIERRY OLLIVIER

Les inscriptions en élamite linéaire sur ce cône de terre cuite sont datées d'environ 2500-2300 avant J.-C.

indépendants, mais bien la même écriture, proto-iranienne, à deux périodes distinctes de son histoire. Utilisée donc de 3300 à 1880 avant J.-C., l'écriture proto-iranienne aurait considérablement évolué entre ses textes les plus anciens (les tablettes proto-élamites) et les plus récents (les textes en élamite linéaire), en connaissant un processus « d'écrémage ». Des 300 signes de départ permettant de noter les noms propres dans les tablettes proto-élamites (dont la grande majorité est conservée à l'heure actuelle au musée du Louvre, à Paris), il n'en est resté que 80 en élamite linéaire, sa version la plus récente, utilisés donc en continu pendant 1400 ans, et généralement écrits de la droite vers la gauche et du haut vers le bas.



En 3300 avant notre ère, l'écriture serait apparue dans trois berceaux distincts : en Égypte (hiéroglyphes), en Mésopotamie (proto-cunéiforme) et en Iran (proto-élamite).

Deux systèmes contemporains plutôt que successifs

Si cette hypothèse se révèle exacte, la version récente de cette écriture (l'élamite linéaire) pourrait débloquer la compréhension de sa phase ancienne (le proto-élamite) et donner ainsi accès à l'un des plus anciens systèmes d'écriture au monde. Même si la reconstruction historique généralement acceptée à l'heure actuelle considère que l'écriture est apparue pour la première fois dans le monde en Mésopotamie (Irak actuel) vers 3300 ans avant J.-C, avec les tablettes proto-cunéiformes, François Desset postule que le proto-élamite (3300-2900 avant J.-C.), remonte aussi loin dans le temps que les premiers textes cunéiformes mésopotamiens ! « *Je considère que l'écriture n'est pas d'abord apparue en Mésopotamie puis plus tard en Iran, mais que ces deux systèmes, le proto-cunéiforme mésopotamien et le proto-élamite iranien, ont en fait été contemporains. Il n'y a pas eu une écriture mère dont le proto-élamite serait la fille, il y a eu deux écritures sœurs. Cette proposition modifie la perspective que nous avions de l'apparition de l'écriture.* »

Il serait désormais plus exact de dire que l'Iran a développé son propre système d'écriture « en même temps » que la Mésopotamie, et que le plateau iranien ne doit plus être ignoré dans les reconstitutions historiques traitant des origines de l'écriture. Pour le chercheur, « *si l'écriture est née en 3300 avant J.-C., elle est apparue dans le monde en trois endroits distincts et de façon contemporaine : en Mésopotamie avec le proto-cunéiforme, en Iran avec le proto-élamite, et en Égypte avec les hiéroglyphes* ». ■

DÉCHIFFREMENT

Les premières transcriptions

Entre 1900 et 1970, la transcription d'une première dizaine de signes en élamite linéaire avait été proposée par différents savants tels que Ferdinand Bork, Walther Hinz ou Piero Meriggi, à partir de quelques inscriptions découvertes à Suse en 1903. Sur la même dalle — « la table au lion » —, des textes en akkadien (écriture cunéiforme) ainsi qu'en langue élamite, notée en élamite linéaire, avaient permis d'identifier (en les lisant de droite à gauche) les noms propres de la divinité Inshushinak *(en bleu, ci-dessous)* ainsi que ceux de Puzur-Shushinak *(en rouge)*, un souverain ayant régné dans le sud-ouest de l'Iran au XXIIe siècle avant J.-C.

MUSÉE DU LOUVRE / RAPHAËL CHIPAULT

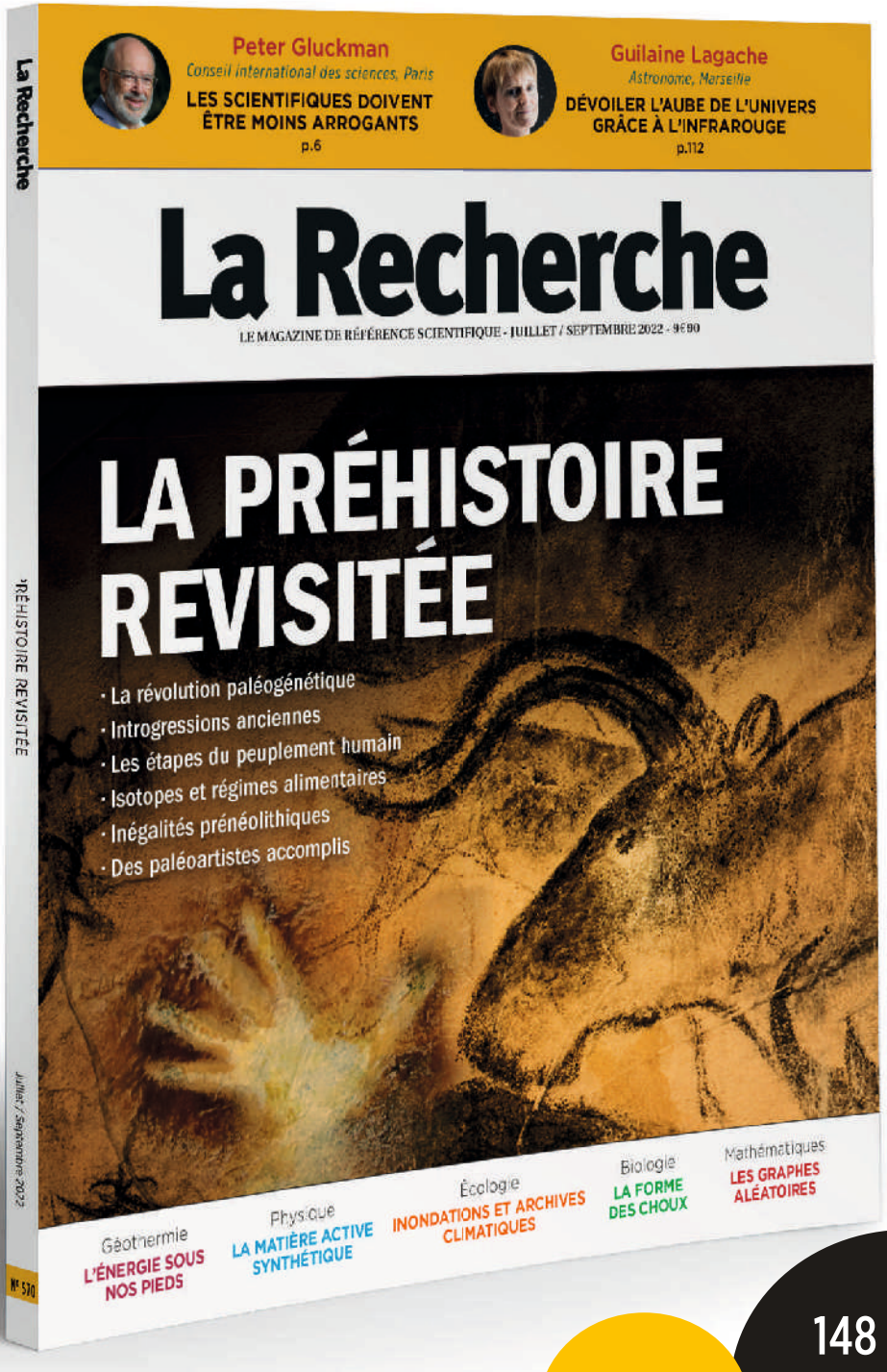
Sur la « table au lion » mise au jour à Suse (Iran) en 1903, apparaissent les noms de deux divinités écrits en élamite linéaire.

* François Desset, Kambiz Tabibzadeh, Matthieu Kervran, Gian Pietro Basello, 2022. « The decipherment of Linear Elamite Writing », *in Zeitschrift für Assyriologie und vorderasiatische Archäologie.*

32 SCIENTIFIQUES PARTICIPENT À CE NUMÉRO

La Recherche

LE MAGAZINE DE RÉFÉRENCE SCIENTIFIQUE



Chez votre marchand de journaux

148 pages
MAGAZINE-LIVRE
Trimestriel

En Corse, les guerriers de pierre sortent de l'ombre

Pour la première fois depuis 1976, des fouilles ont repris à Filitosa, le site mégalithique le plus connu de l'île de Beauté. Et redonnent l'espoir que ces blocs de granit révéleront quelques-uns de leurs mystères.

Par notre envoyée spéciale Sylvie Briet. Photos : Stéphane Bravin/Rea pour Sciences et Avenir - La Recherche

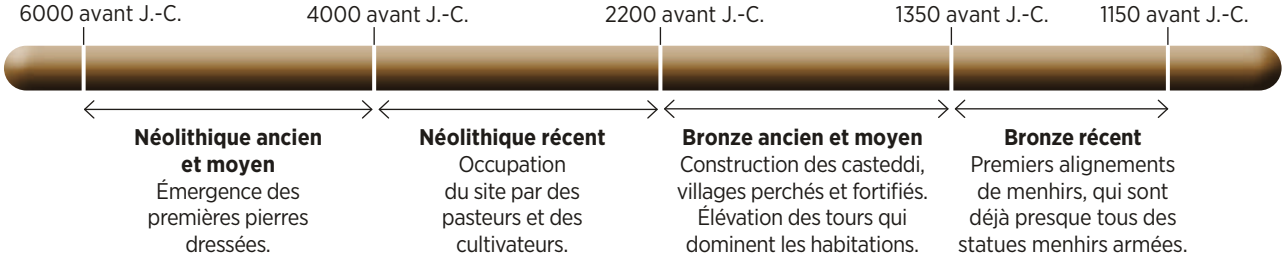
Surgissant dans la garrigue et la rocaille, le sévère visage de pierre intrigue et incite à poursuivre sur le chemin des stèles millénaires de Filitosa. « La Corse, nouvelle île de Pâques ? » C'est un titre un brin provocateur qu'avait choisi *Sciences et Avenir* en 1956 pour jouer sur la similitude des statues menhirs anthropomorphes découvertes sur l'île de Beauté avec celles de la célèbre île de l'océan Pacifique. La comparaison s'arrêtait là. À l'époque, l'article écrit par le préhistorien Roger Grosjean — à l'origine des recherches —, eut le mérite de mettre en lumière les statues corses. Elles connurent ainsi leur heure de gloire, mais livrèrent peu de secrets avant de retourner à leur vie tranquille de pierre immobile, à peine troublées par les visiteurs. Aujourd'hui, vont-elles enfin parler ? Pour la première fois depuis 1976, des fouilles ont repris à Filitosa, le plus impressionnant site mégalithique de Corse, non loin de Propriano. Et redonnent l'espoir que ces blocs de granit représentant des guerriers révéleront quelques-uns de leurs mystères. Pourquoi furent-ils érigés à la fin de l'âge du bronze ? Glorifient-ils des combattants ? Ont-ils été sculptés du vivant des hommes qu'ils représentent ? Pour répondre à ces questions, Kewin Pêche-Quilichini, archéologue spécialiste de l'âge du bronze, directeur du musée de l'Alta Rocca à Levie, a choisi de s'intéresser aux anciens habitants de Filitosa. Il a démarré en 2021 un cycle de recherches qui durera trois ans, peut-être six…

Le chemin qui serpente dans la nature débouche sur une première statue dressée à l'entrée du village préhistorique, limité par un mur d'enceinte. Le mélange d'austère granit et de luxuriante végétation donne tout son charme à Filitosa. À quelques mètres, la jeune équipe d'archéologues corses, continentaux et italiens, fouille une ancienne maison de pierres. Les visiteurs (le site est ouvert au public) s'arrêtent intrigués par les bâches, les trous et ces gens qui creusent la terre : *« Vous avez trouvé quoi aujourd'hui ? »* Devant un auditoire improvisé, sans cesse renouvelé, les chercheurs se relaient et montrent les découvertes des derniers jours : trois nouveaux foyers sur lesquels les habitants cuisinaient — porc, bœuf, mouton, graines, glands… —, des restes de poterie, ou encore une perle en pierre originaire de Mésopotamie, gravée de motifs géométriques. Plus les archéologues creusent et plus ils trouvent des traces d'occupation lointaine : ils sont ainsi arrivés cette année à 1550 avant notre ère.

BRUNO BOURGEOIS

Trois fragments de statues menhirs sculptées vers 1300 avant J-C, s'élèvent autour du monument central de Filitosa.

Filitosa, des premiers blocs dressés aux statues menhirs



Au néolithique, seules quelques familles habitent Filitosa, d'abord dans les abris-sous-roche naturels sculptés par l'érosion puis dans des villages. Les occupants utilisent entre autres des outils en obsidienne, une pierre dure inexistante en Corse et provenant de Sardaigne, ce qui prouve que les deux îles communiquent déjà. Vers 1800 avant notre ère, les casteddi apparaissent : des petits habitats fortifiés, construits sur les reliefs. Il en existe une centaine sur l'île et Filitosa en est un, visible car le mur d'enceinte toujours présent par endroits délimite les frontières de l'habitat. Deux jeunes étudiantes s'emploient à le dégager : *« Les anciens fouilleurs n'ont pas fait de plan, nous essayons de mieux comprendre l'agencement du village »*, explique Fiona Tacchini, étudiante de Porto Vecchio qui termine son master à Montpellier.

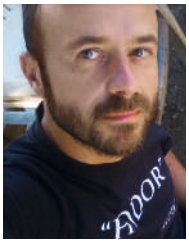
Un éperon rocheux domine le casteddu sur lequel s'élèvent les restes du « monument central », une tour, *torre* en corse, construite vers 1500 avant notre ère. *« Il en existe environ 70 sur l'île, situées au*

Les restes de la « torre » (tour, en corse) située sur un promontoire rocheux. Il en existe environ 70 sur l'île, dont deux à Filitosa.

L'équipe d'archéologues fouille les anciens habitats de pierre. Cette année, ils ont trouvé des traces d'occupation datant de 1550 avant J.-C.

sommet des casteddi, précise Kewin Pêche-Quilichini. *Ces* torre*, des espaces défensifs, servaient d'abord pour stocker le grain. Celle de Filitosa comprend une pièce avec un grand foyer au milieu, peut-être pour cuire le pain.* » De ce promontoire naturel choisi par les humains préhistoriques, la vue, sublime, plonge sur une large plaine peuplée d'oliviers millénaires et de chênes-lièges. Il faut descendre la pente et enjamber un ruisseau pour découvrir un alignement de cinq statues menhirs redressées lors des anciennes fouilles.

À Filitosa, presque toutes les stèles sont des statues menhirs armées dont tout le tour est sculpté. Édifiées vers 1350 avant notre ère, elles représenteraient des chefs barbus, avec casque et armes. L'ovale de leur visage se dessine dans le granit, un nez sommaire ressort, des yeux inquiétants s'enfoncent et parfois, une épée descend le long du corps. C'est en dégageant son terrain en 1946 que le propriétaire, Charles-Antoine Cesari, fit la découverte initiale *(lire l'encadré ci-contre)*. Dorothy Carrington, une écrivaine britannique qui eut la chance d'observer les quatre premières en 1948, les décrivit dans son livre sur la Corse* : *« des figures primitives mais d'une extraordinaire puissance d'expression […] des images humaines, rudimentaires et énigmatiques mais familières, pas totalement coupées de nous ou incompréhensibles comme les statues mayas. »*



KEWIN PECHE-QUILICHINI

« Nous peinons à trouver des tombes de l'âge du bronze. Mais on n'a fouillé que 10 % du site et rien depuis les années 1970 »

Kewin Pêche-Quilichini, archéologue spécialiste de l'âge du bronze, directeur du musée de l'Alta Rocca, à Levie

Il fallut attendre huit ans pour que le préhistorien du CNRS Roger Grosjean arrive sur l'île, décidé à y étudier la civilisation mégalithique et à entreprendre des fouilles. À Filitosa, il met rapidement au jour une des plus grandes stèles avec ses 2,95 mètres de hauteur. Elle servait de banc au propriétaire des lieux ! Nommée Filitosa V, elle possède une épée verticale de 1,37 m de long, gravée sur le devant, et un poignard dans sa gaine. Dans son dos, figurent les omoplates et la colonne vertébrale. Pour Roger Grosjean, il s'agissait des « *premières effigies d'êtres humains de caractère monumental et réaliste élevées en Europe occidentale* ». Au total, il ressortit de la végétation une dizaine de ces statues. Il les redressa, les réinstalla, mais pas sur leur lieu exact d'origine, inconnu.

Des symboles guerriers plutôt que cultuels

Aujourd'hui, les archéologues estiment que ces statues sont l'œuvre d'une société d'éleveurs, d'agriculteurs, de cueilleurs très hiérarchisée qui vivait dans le casteddu. Cet habitat fortifié indique qu'un pouvoir fort assurait la stabilité du lieu et la gestion des stocks de nourriture. L'an dernier, Kewin Pêche-Quilichini a découvert sur un « alignement fantôme », à l'entrée nord-est du site, les marques d'implantation de statues près desquelles il a mis au jour quelques os humains, incinérés. Il s'agirait des premières incinérations en Corse, pratiques déjà employées en Italie. Existe-t-il un lien entre les statues et ces ossements en cours d'analyse ? Contrairement aux dolmens, les menhirs ne sont pas des monuments funéraires mais l'archéologue voit mal comment ils ne seraient pas reliés : « *Nous peinons à trouver des tombes de l'âge du bronze. La pratique de l'incinération expliquerait la rareté des ossements humains sur place. Mais on n'a fouillé que 10 % du site et rien depuis les années 1970.* » Plusieurs théories ont circulé pour expliquer la présence de ces intrigants monuments. Selon Roger Grosjean, la Corse aurait été envahie

MUSÉE

La gestion du site, une affaire de famille

La plus imposante des statues menhirs corses se dresse dans le musée bâti par les Cesari à Filitosa.

Filitosa est un site privé et sa gestion une affaire familiale. Le grand-père, propriétaire du terrain, Charles-Antoine Cesari, frustré de se heurter à un mur d'indifférence au moment de sa découverte des stèles en 1946, décide de ne plus demander d'aide à l'État. Il refuse ainsi une subvention d'un million d'anciens francs proposée par le ministre de la Culture André Malraux. Il investit les biens familiaux pour aménager le site, financer les premières fouilles. Et mobilise la famille. Daniel, l'un de ses six enfants, directeur de l'exploitation, a récemment transformé la petite salle d'exposition située à l'entrée du site en musée moderne. « *J'ai hérité de mon père. Il nous a dit : "Vous avez des bras, au travail" !* » Deux des statues menhirs qui se détérioraient à l'air libre sont présentées dans le bâtiment conçu par un architecte belge amoureux du site, tandis qu'à l'extérieur le public en voit une copie. Tous les descendants rendent hommage au grand-père. « *Il lui a fallu huit ans pour faire venir un archéologue sur l'île, huit ans à se faire passer pour un fou* », peste encore le petit-fils, prénommé Charles-Antoine lui aussi, qui précise : « *On ne ménage pas notre peine.* » Aujourd'hui encore à Filitosa, site classé monument historique, l'État n'intervient que pour financer les fouilles, « *pour que la science avance* », dit la famille.

FRANCK LEANDRI

DIRECTEUR RÉGIONAL DES AFFAIRES CULTURELLES DE CORSE

« Ces menhirs étaient des marqueurs de territoire »

PHOTOPQR/CORSE MATIN/MAXPPP

“Nous avons recensé sur l'île 150 sites, avec plus de 600 menhirs, et l'inventaire n'est pas terminé. Il existe plusieurs mégalithismes, celui du néolithique vers la moitié du Ve millénaire avant notre ère, avec des pierres levées et des dalles dressées, ensuite celui des tombes mégalithiques, les dolmens, et enfin les statues menhirs de la période protohistorique dans laquelle se situe Filitosa, un des fleurons de Méditerranée. La plupart des sites ont fonctionné sur de longues périodes. Ces menhirs étaient des marqueurs de territoire implantés dans des endroits précis : des plateaux, des hauteurs, à proximité de rivières ou de sources. Le site de Cauria, non loin de Filitosa, beaucoup moins connu, a également été occupé plusieurs millénaires à partir de la fin du Ve millénaire avant notre ère, et présente la même ambiance culturelle que Filitosa. On y trouve des alignements, des statues menhirs et un dolmen. Des recherches récentes montrent des concordances chronologiques avec la Bretagne : un dolmen du nord de la Corse a été daté de 4200 ans avant J.-C., le même âge que certains dolmens bretons ; cela rejoint également la chronologie de Catalogne mais on ne conclut pas à une culture mégalithique, nous avançons petit à petit. Nous en découvrons encore et rencontrons de gros problèmes de conservation. L'une des solutions est de réaliser des répliques et de mettre les originaux à l'abri dans les musées, comme cela se fait à Sartène ou à Filitosa.”

Propos recueillis par S. B.

par les Shardanes, un des peuples de la mer qui s'attaquèrent à l'Égypte puis s'allièrent aux pharaons entre les XIVe et XIIe siècles avant notre ère. Or les armes gravées sur les statues corses ressemblent à celles des combattants représentés sur un bas-relief du temple de Ramsès III, de Médinet Habou, face à Louxor. Cette théorie selon laquelle il s'agirait de Shardanes est abandonnée aujourd'hui, la chronologie affinée ne correspondant pas. Désormais, l'une des hypothèses repose sur des recherches en Orient : des Italiens, des Corses, des Sardes auraient travaillé comme mercenaires pour les Grecs mycéniens, employés pour attaquer les bateaux égyptiens. Les statues menhirs représenteraient ces guerriers. « *La période était agitée en Méditerranée, marquée par de nombreuses violences,* explique Franck Leandri, directeur régional des affaires culturelles de Corse *(lire l'interview ci-dessus). Les grandes civilisations de l'époque, les Égyptiens, les Grecs mycéniens, les Hittites sont en conflit et une élite guerrière émerge. En même temps, il existait déjà une énorme circulation entre les régions. Nous avons trouvé des perles d'ambre de la Baltique, ou des modèles d'arme du Proche Orient.* » Ces sites mégalithiques étaient des lieux où la population se retrouvait et illustrent la montée en puissance des guerriers. « *Selon moi, ces statues servaient la propagande politique* », poursuit Kewin Pêche-Quilichini. « *Les chefs les transformaient en symboles de gloire car ils voyaient l'effet produit sur la population. Pour l'âge du bronze, en tout cas, je suis quasiment certain que ces objets ne jouaient aucun rôle cultuel.* »

À partir de 1350 avant notre ère, la plupart des sites mégalithiques du sud de l'île sont abandonnés et les casteddi cessent leur activité vers 1200 en même temps que s'effondrent les grandes civilisations de l'âge du bronze. Guerres ? crise climatique ? Les sombres visages de pierre se laissent envahir par la végétation jusqu'à ce que Charles-Antoine Cesari les redécouvre. Le site mégalithique le plus connu de Corse appartient toujours à la même famille. Une troisième génération de Cesari se bat en 2022 pour que les guerriers préhistoriques ne retombent pas dans l'oubli. Comme les archéologues, car si l'État paye les fouilles, tous sont bénévoles et mènent campagne à Filitosa une fois par an « *par passion* ». ■

* *La Corse*, Arthaud, 2014.

TSF JAZZ, LA RADIO 100% JAZZ ET LE CHÂTEAU DE CHANTILLY PRÉSENTENT

TSF JAZZ CHANTILLY FESTIVAL

MELODY GARDOT
IBRAHIM MAALOUF
MICHEL PORTAL - MP85
RHODA SCOTT LADY ALL STARS
ROBERTO FONSECA
CIMAFUNK
KENNY GARRETT
GEORGE CABLES
BELMONDO QUINTET
CYRILLE AIMÉE
TCHAVOLO SCHMITT
THE AMAZING KEYSTONE BIG BAND
EMMET COHEN
BIG IN JAZZ COLLECTIVE
JEANNE MICHARD
HOT SUGAR BAND

SAMEDI 2 ET DIMANCHE 3 JUILLET 2022

MIDI > MINUIT

PARC DU CHÂTEAU DE CHANTILLY

Billetterie et renseignements :
www.tsfjazzchantillyfestival.com

Concert d'ouverture
vendredi 1er Juillet
ABDULLAH IBRAHIM SOLO

Château de Chantilly
INSTITUT DE FRANCE

OFFICE DE TOURISME CHANTILLY-SENLIS

Avec le soutien de

Vive le Jazz

YAMAHA

Libération

france•tv

Télérama

TRANSVERSALES

SOMMAIRE

▶ C'est à lire
p. 118

▶ C'est à voir
p. 122

▶ Le ciel du mois
p. 124

▶ Chroniques
p. 126

▶ Questions de lecteurs
p. 128

▶ Solutions des jeux
p. 129

▶ Jeux
p. 130

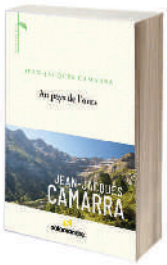
MATHIEU PUJOL/NATURAGENCY

La cohabitation de l'humain avec le plantigrade est au cœur du récit de l'auteur (ici une image saisie par un des appareils photo automatiques placés par l'équipe de suivi de l'ours brun de l'ONCFS).

La montagne aux ours

Le naturaliste Jean-Jacques Camarra fait l'histoire de plusieurs décennies de réintroduction de l'ours dans les Pyrénées.

TÉMOIGNAGE C'est un journal de confinement pendant la pandémie de Covid-19. À Etsaut, bourgade béarnaise de la vallée d'Aspe (Pyrénées-Atlantiques). Quarante-trois ans après s'être installé une première fois dans une masure de pierre isolée à 1100 mètres d'altitude, Jean-Jacques Camarra revient sur les lieux et refait l'histoire de plusieurs décennies de réintroduction de l'ours dans les Pyrénées. En 1977, le jeune naturaliste est alors envoyé pour suivre les derniers plantigrades à fréquenter ces pentes. Il traque les traces de Papillon et de Cannelle et espère ces rencontres qui seront rares et précieuses. Ce « carnet des années Papillon » est un témoignage précieux sur la gestion chaotique de l'espèce, du lâchage des premiers ours slovènes en 1996 à l'arrivée par hélicoptère en 2018 de Claverina et Sorita en vallée d'Aspe sous les bruits de pétards et les coups de klaxon des opposants, 900 mètres au-dessus de la cabane de l'ancien fonctionnaire de l'Office national de la chasse et de la faune sauvage (ONCFS). Flirtant avec le risque de misanthropie sans jamais vraiment y tomber, l'auteur s'étonne de la tragi-comédie qui enflamme toujours la chaîne pyrénéenne. De l'État qui « *a joué au chef d'orchestre jusqu'à perpétuer le non-dit et la stratégie d'une interminable psychothérapie de groupe à la française* » à l'intransigeance des « *nés-natifs* ». « *L'ignorance couronnée par le "c'est nous qui savons" renforce la confiance face au vrai savoir comme si d'avoir un avis dispensait de s'instruire* », assène Jean-Jacques Camarra. Mais ce livre est surtout un hymne à la nature, une ode aux liens que les humains devraient tisser avec les plantes et les autres animaux. Et qu'ils ont oubliés. ■ **Loïc Chauveau**



Au Pays de l'ours, Jean-Jacques Camarra, La Salamandre, 240 p., 19 €

Conquérir Mars et le cerveau humain

EXPERTISE Le personnage clivant et les rodomontades sur Twitter font beaucoup d'ombre à la réalité technique et scientifique des projets d'Elon Musk. Olivier Lascar, rédacteur en chef du pôle numérique de *Sciences et Avenir*, apporte sur le sujet une profusion de détails. Thème par thème (espace, automobile, interface cerveau-machine…), il fait parler des experts pour dégager en quoi les ambitions spatiales de l'entrepreneur bouleversent le secteur ou pourquoi l' « autonomie » de ses voitures Tesla est plus qu'ambigüe. ■ **A. D.**

Enquête sur Elon Musk, Olivier Lascar, Alisio, 224 p., 18 €

Quand l'art raconte l'histoire de la médecine

REPRÉSENTATIONS Historien spécialiste des relations entre arts et sciences, Alexis Drahos signe un ouvrage de toute beauté qui s'appuie sur nombre de dessins, peintures et sculptures pour explorer l'évolution des pratiques médicales, de l'Antiquité à l'époque contemporaine. Choisies chez les grands maîtres comme chez des artistes moins connus, les œuvres tracent un parcours thématique abordant aussi bien l'anatomie que les représentations des maladies psychiatriques ou l'ophtalmologie. ■ **H. J.**

Art & Médecine, Alexis Drahos, Citadelles & Mazenod, 352 p., 179 €

Les premiers pas de l'humanité

MÉMOIRE Voilà une lecture très attirante : le récit forcément non exhaustif des « premières fois » de l'humanité. Le préhistorien nous entraîne dans un périple spatio-temporel, de la première trace de présence humaine à la première chirurgie, en passant par le feu, la peinture, le bijou, le couple, le crime, la drogue… Cet exercice audacieux et rigoureux manie avec bonheur le changement d'échelle analytique, en ouvrant autant de questionnements sur les origines de l'humanité qu'il esquisse de réponses. ■ **A. De B.**

Nos premières fois, Nicolas Teyssandier, Flammarion, 238 p., 8 €

Les fantômes de Tchernobyl

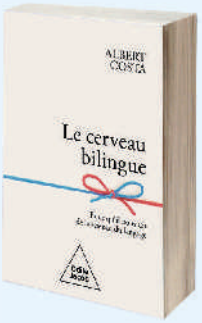
EXPLORATION Les amateurs du réalisateur russe Andreï Tarkovski le savent : son film *Stalker*, en 1979, préfigure de façon troublante, avec son périmètre délabré et interdit appelé « la Zone », l'espace d'exclusion autour de la centrale nucléaire de Tchernobyl après l'accident d'avril 1986. De fait, cette référence vient vite, dans le récit de Galia Ackerman. Historienne née à Moscou en 1948, spécialiste de la Russie post-soviétique, elle a déjà écrit sur Tchernobyl. Mais ce livre (il s'agit ici d'une nouvelle édition augmentée) a ceci de particulier qu'il a des airs d'« urbex », ces explorations de sites à l'abandon, multipliant découvertes et rencontres intrigantes. Immeubles abandonnés et bourgades rasées. Gangsters et ethnographes. Mais aussi un radar géant et sa ville secrète dans la forêt ou des villages stockant des déchets contaminés. Le vide de Pripiat, ville nouvelle bâtie pour les employés de la centrale, côtoie une drôle d'activité à Tchernobyl, ville historique marquée par la Shoah par balles. Car pour l'auteur, ce monde clos à tout d'un condensé de l'histoire du soviétisme comme de l'Ukraine. ■ **Arnaud Devillard**

Traverser Tchernobyl, Galia Ackerman, Premier Parallèle, 248 p., 10,90 €

Secrets désenfouis

FOSSILES Passé l'émerveillement devant un fossile, vous est-il arrivé de vous demander comment cette bestiole préhistorique occupait ses journées ? Comment elle mangeait ou chassait, se battait ou se reproduisait ? Si elle jouait, s'occupait de ses petits, aménageait son lieu de vie ? Appuyé sur de merveilleux exemples, ce livre détaille comment les paléontologues reconstituent les comportements d'animaux disparus, à partir d'indices parfois ténus. Un voyage dans le temps illustré par des reconstitutions saisissantes. ■ **R. M.**

Prisonniers du temps, Dean Lomax, illustrations Bob Nicholls, Belin, 340 p., 22,90 €



Les effets cognitifs du bilinguisme

LANGAGE Anglais, japonais ou encore arabe… Peut-être, en plus du français, avez-vous la chance de maîtriser une autre langue (voire plusieurs). S'appuyant sur vingt ans de travaux en sciences du langage et en neurosciences, cet ouvrage nous éclaire sur les plus récentes avancées concernant cette fascinante faculté. Il décrypte aussi les effets du bilinguisme sur le plan cognitif, notamment chez les jeunes bébés qui apprennent deux idiomes simultanément, ou chez les adultes victimes d'une lésion cérébrale. On explore les zones du cerveau impliquées dans le contrôle des deux langues, ou la manière dont le bilinguisme influe sur le fonctionnement du langage. L'auteur détaille aussi des travaux récents suggérant que le bilinguisme peut favoriser le maintien des capacités cognitives en cas de maladie neurodégénérative. Alors, bientôt tous bilingues ? ■ **Vincent Glavieux**

Le Cerveau bilingue, Albert Costa, Odile Jacob, 224 p., 24,90 €

Pour les sciences

DÉFENSE Réchauffement climatique, crise sanitaire… Le rôle, l'influence, la compétence des scientifiques sont désormais souvent publiquement décriés, alors même que ces derniers essaient de faire face à l'appétit de savoir des décideurs ou des citoyens. *« Soit ils se trompent, soit ils aveuglent le pouvoir politique et toute la société »*, résume le philosophe et mathématicien Vincent Jullien qui a décidé de répondre *« au complotisme, aux procès trop souvent manichéens »* par un livre dûment argumenté. Il se découpe en 13 actes d'accusations (les sciences se trompent, donc ne sont pas fiables, elles sont misogynes, au service des puissants, etc.), auxquels répondent 13 plaidoiries. Loin des philippiques qui encombrent la toile, la défense est ici étayée, raisonnable, mise en perspective, dénuée d'artifice rhétorique sans manquer d'humour. Une respiration ! ■ **R. M.**

Plaidoyer pour la science, Vincent Jullien, Impacts Éditions, 172 p., 15 €

L'autre (sale) choc pétrolier

ÉTAT DES LIEUX Outre le réchauffement, les énergies fossiles sont aussi à l'origine de deux menaces majeures pour l'humanité : la perte de biodiversité et la pollution chronique. Le livre détaille la contamination des eaux, du sol, de l'air et de l'alimentation et ses effets sur la santé des adultes, des enfants mais aussi des fœtus en développement. Il rappelle les interactions entre génome et environnement et donne des pistes pour s'extraire de la dépendance. ■ **R. M.**

Comment les énergies fossiles détruisent notre santé, le climat et la biodiversité, Barbara Demeneix, Odile Jacob, 296 p., 23,90 €

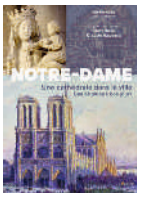
La dimension oubliée des arbres

FRAGANCES Le biologiste et écologue américain David G. Haskell, mondialement connu pour son livre *Un An dans la vie d'une forêt*, nous parle ici d'une caractéristique des arbres rarement évoquée spontanément : leur parfum. Sa balade d'une dizaine de chapitres nous emmène à la découverte de plantes dont les fragrances l'ont marqué : le laurier, le hêtre de l'Antarctique, le genévrier… Poétique, sensible, scientifique, ce livre promet un agréable moment de lecture, cet été, à l'ombre de l'arbre de votre choix… ■ **V. G.**

Le Parfum des arbres, David G. Haskell, Flammarion, 192 p., 18 €

Une cathédrale dans le cœur des Français

SYMBOLE Une centaine de documents iconographiques et une dizaine de cartes originales éclairent ce monument vieux de 850 ans. Mêlant histoire religieuse, sociale, politique, culturelle et urbaine, une quinzaine de spécialistes se penchent sur le cas de la cathédrale parisienne pour nous en révéler les facettes. Un ouvrage de référence pour celle dont l'incendie du 15 avril 2019 fit trembler les Français et au-delà, tant cette architecture d'exception est un puissant symbole. ■ **B. A.**

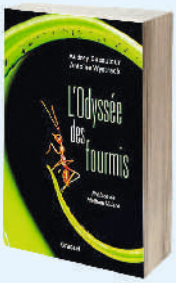


Notre-Dame, Une cathédrale dans la ville, sous la direction de Boris Bove et Claude Gauvard, Belin, 485 p., 39 €

50 idées reçues sur la nature

LIVRE-JEU Qui ignore qu'il y a du fer dans les épinards, que les chauves-souris se prennent dans nos cheveux le soir, que les taupes sont myopes, que les caméléons sont capables de modifier leur couleur pour se fondre dans leur environnement ? Et bien toutes ces affirmations sont fausses ! Ce livre associé à un jeu de l'oie cocasse permet de remettre en place 50 idées reçues — une bêtise par case — sur la nature. Chaque case renvoie à une explication scientifique didactique, illustrée avec humour. ■ **S. R.**

Jeu de l'oie des bêtises, François Lasserre et Roland Guarrigue, Delachaux et Niestlé, 40 p., 14,90 €



Époustouflantes fourrageuses

AVENTURE Ce livre captivant se concentre sur la vie des fourmis qui s'aventurent hors du nid : les fourrageuses. Ces intrépides représentent seulement 5 à 10 % des individus, mais assurent à elles seules l'approvisionnement de toute une colonie. Dotées d'une mémoire incroyable, d'une force prodigieuse, de sens très développés, elles sont capables de relever des défis complexes que nous peinons à résoudre à notre échelle. Inlassablement produites par la monstrueuse pondeuse qu'est la reine, ces fourrageuses sont comme une extension de ces superorganismes qui peuplent forêts, prairies voire nos murs et placards. Souvent les plus âgées de la colonie, ces exploratrices risquent leur vie à chaque odyssée hors du logis, comme un humain plongé dans Jurassic Park ! On les découvre tour à tour nageuses, haltérophiles, médecins, éleveuses, kamikazes, ninjas, voleuses, guerrières, planeuses ou esclaves… tandis que leurs congénères paressent. Palpitant ! ■ **Rachel Mulot**

L'Odyssée des fourmis, Audrey Dussutour et Antoine Wystrach, Grasset, 448 p., 24 €

REJOIGNEZ **LE PREMIER PÔLE SCIENTIFIQUE** DE LA PRESSE FRANÇAISE

SCIENCES ET AVENIR La Recherche

LE MENSUEL

LE HORS-SÉRIE

UNE INFORMATION THÉMATIQUE CLAIRE ET VIVANTE

Chaque trimestre, une thématique étudiée sous tous ses aspects, en compagnie des plus grands spécialistes.

39 JOURNALISTES PASSIONNÉS

19 PARUTIONS PAR AN

2,5 MILLIONS DE LECTEURS

2,6 MILLIONS DE SOCIO-NAUTES

7,3 MILLIONS DE VISITEURS SUR LE SITE

3 APPLICATIONS IOS/ANDROID

UNE VISION COMPLÈTE DE LA SCIENCE

Chaque mois, toute l'actualité scientifique, dans un langage accessible.

Retrouvez toutes nos offres d'abonnement sur sciencesetavenir.fr

La Recherche

LE TRIMESTRIEL

LA RÉFÉRENCE INCONTOURNABLE

Chaque trimestre, un panorama complet en 150 pages de la recherche scientifique.

Retrouvez toutes nos offres d'abonnement sur larecherche.fr

2 SITES POUR DES INFOS EXCLUSIVES

TOUTE L'ACTUALITE SCIENTIFIQUE QUOTIDIENNE

2 sites au service de l'actualité scientifique, de la plus accessible à la plus innovante. **Des articles quotidiens** pour être à la pointe de la science.

Vos questions en direct aux chercheurs sur https://www.twitch.tv/sciencesetavenir/

plus de 2,2 millions de fans !

plus de 160 000 followers

plus de 163 000 instagrammeurs

Plus de 7 000 abonnés professionnels

plus de 17 000 abonnés

PROMINT-SCAV2

EXPOSITIONS

Auxerre (89)

Des animaux dans le ciel
Il y en a des choses dans le ciel : poissons, toucan, caméléon, grue, lièvre, chien mais aussi chariot, louche ou les Pléiades de la mythologie grecque… C'est l'objet de cette exposition : raconter comment les humains ont rendu familières les constellations du ciel nocturne, mais aussi comment les étoiles ont été utilisées, notamment pour se repérer.
Muséum, 5 boulevard Vauban, jusqu'au 28 août. Rens. : 03.86.72.96.40.

Chaumont-sur-Loire (41)

Jardin idéal, 30 ans d'utopie verte
Pour les 30 ans du Festival international des jardins, des concepteurs du monde entier proposent leurs visions, cumulant dimensions esthétique, écologique, thérapeutique… L'art cohabite avec la gestion de l'eau et de l'énergie, l'innovation côtoie l'émotion.
Domaine de Chaumont-sur-Loire, jusqu'au 6 novembre. Rens. : 02.54.20.99.22.

Genève (Suisse)

Injustice environnementale, alternatives autochtones

Le musée d'Ethnographie de Genève (MEG) met en scène créations contemporaines et anciennes des peuples autochtones, en lien avec la crise climatique. Le parcours de visite, fourni en témoignages écrits et sonores, dévoile peintures aborigènes, vanneries et poteries de Guyane, installations sami de Norvège, poèmes et masques d'Alaska.
Musée d'Ethnographie de Genève, boulevard Carl-Vogt 65, jusqu'au 21 août. Rens. : +41 (0) 22.418.45.50.

Lens (62)

Rome, la cité et l'empire
C'est une petite ville du Latium, dans l'actuelle Italie, qui a donné son nom à un empire. Pour raconter ce destin, les collections romaines du Louvre parisien sont transférées à Lens dans le cadre d'une rétrospective en 400 œuvres.
Louvre-Lens, 99, rue Paul-Bert, jusqu'au 25 juillet. Rens. : 03.21.18.62.62.

Lille (59)

Novacène
Dans le cadre de Lille3000, des artistes contemporains s'inspirent de la notion de novacène du scientifique et environnementaliste britannique James Lovelock. Cette ère est censée succéder à l'anthropocène. Elle donne lieu à des installations réimaginant le vivant, les phénomènes climatiques et, plus globalement, un futur viable.
Gare Saint-Sauveur, 17 boulevard Jean-Baptiste-Lebas, jusqu'au 2 octobre. Rens. : 03.20.52.10.39.

Lyon (69)

Magique
C'est une autre version de l'exposition Magie-Sorcellerie du Muséum de Toulouse que présente ici le musée des Confluences. En 400 pièces, le parcours aborde les pratiques magiques à travers l'histoire et les cultures.
Musée des Confluences, 86 quai Perrache, jusqu'au 5 mars 2023. Rens. : 04.28.28.12.12.

Marseille (13)

Cosquer Méditerranée
Face au Mucem, la Villa Méditerranée accueille depuis juin la restitution de la grotte Cosquer, chef-d'œuvre de l'art pariétal aux 500 panneaux ornés et dont l'entrée se situe sous les eaux des calanques. Le site, contracté en un parcours de 220 m, se visite à bord de modules de six personnes dans la pénombre. (Voir notre diaporama : sciav.fr/905cosquer)
Villa Méditerranée, Promenade Robert-Laffont, esp. J4. Rens. : 04.91.31.23.12.

Nîmes (30)

Les Étrusques, une civilisation européenne
En 140 œuvres, le musée de la Romanité revient sur un peuple encore méconnu du grand public, les Étrusques. Le parcours aborde les divers aspects (politique, religion, commerce…) de cette civilisation du centre de la péninsule italique, en contact avec le monde méditerranéen. *(Lire aussi* Sciences et Avenir–La Recherche *n° 904, juin 2022.)*
Musée de la Romanité, 16, boulevard des Arènes, jusqu'au 23 octobre. Rens. : 04. 48.21.02.10.

Paris (75)

Machu Picchu et les trésors du Pérou

Coiffe frontale en or de la culture chimu (IIe-XVe siècles).

C'est un voyage vers des cultures mythiques que propose, au milieu de sons de jaguars rugissants et d'oiseaux multicolores, cette exposition événement. Elle est consacrée aux sociétés andines qui, pendant 3000 ans, ont dominé une importante partie de l'Amérique du Sud. Si la citadelle du Machu Picchu et l'empire inca (1438-1533) sont convoqués « en produit d'appel » avec leurs impressionnantes réalisations architecturales, c'est autour de 192 objets issus de sociétés précolombiennes dont les Incas furent les héritiers que se concentre réellement le parcours : coiffes en métaux précieux, ornements d'oreille, colliers, revêtement pectoral… Scintillant sous les éclairages, la parure en or d'un dignitaire chimu constitue l'un des points forts. Tous ces objets qui ont survécu aux pillages et à la fonte de l'or par les Espagnols sont autant de témoignages du savoir-faire des orfèvres précolombiens. La visite se complète d'un survol en réalité virtuelle des ruines de Machu Picchu. Frissons garantis !
(Lire notre reportage : sciav.fr/905perou) ■
Bernadette Arnaud

Cité de l'architecture et du patrimoine, 1, place du Trocadéro, jusqu'au 4 septembre. Réservation sur Internet : sciav.fr/905machu

WORLD HERITAGE EXHIBITIONS

Scannez ce QR code et retrouvez toutes les expositions dans notre guide

Paris (75)

L'aventure Champollion, dans le secret des hiéroglyphes
Propriétaire des archives de Jean-François Champollion (1790-1832), le déchiffreur des hiéroglyphes, la BNF présente une masse de documents exceptionnels : manuscrits, estampes, sarcophages, papyrus, sculptures, dictionnaires… La plupart n'avaient jamais été montrés.
(Lire notre reportage : sciav.fr/904champollion)
Bibliothèque nationale de France, quai François-Mauriac, jusqu'au 24 juillet. Rens. : 01.53.79.59.59.

Visage de l'exploration au XIXe siècle, du mythe à l'histoire
Cette exposition confronte la figure de l'explorateur européen du XIXe siècle, exaltée et popularisée par de nombreux récits ou films, à la réalité du terrain. L'occasion d'évoquer ceux restés aux marges de l'historiographie et de s'intéresser aux conditions pratiques des expéditions.
(Lire notre reportage : sciav.fr/905explo)
Bibliothèque nationale de France, quai François-Mauriac, jusqu'au 21 août. Rens. : sciav.fr/905bnf

Toulouse (31)

Le mystère Mithra, plongée au cœur d'un culte romain

Le mythe de Mithra le fait naître de la pierre. On peut s'en convaincre en admirant les exceptionnelles sculptures de cette exposition. Arrivé de Perse, ce dieu méconnu se répand dans le monde romain à partir du Ier siècle de notre ère et cohabite avec les autres religions. Des découvertes archéologiques récentes lèvent une part du voile sur son culte. Au centre de l'exposition, un « mithreum » a été reconstitué. Au fond, le Mithra « tauroctone » (il tue un taureau et permet à la Terre de se régénérer) provient de Francfort (Allemagne). Le rituel le plus important était sans doute un banquet réunissant militaires, fonctionnaires, commerçants… rappelant celui de la franc-maçonnerie. ■
Jean-François Haït

Musée Saint-Raymond, place Saint-Sernin, jusqu'au 30 octobre. Rens. : 05.61.22.31.44.

Mithra portant le taureau (389 après J.-C.).
RMNGRAND PALAIS/FRANCK RAUX

Pharaon des Deux Terres, l'épopée des rois de Napata
Cette exposition retrace l'histoire des souverains africains du royaume de Kouch qui régnèrent sur l'Égypte à partir du VIIIe siècle avant notre ère. Venus de Londres, Oxford, Berlin ou Copenhague, 200 objets sont présentés sur plus de 1000 m². D'autres sont présentés sous forme de numérisation 3D.
(Lire notre reportage : sciav.fr/905napata)
Musée du Louvre, jusqu'au 25 juillet. Rens. : sciav.fr/905louvre

Saint-Germain-en-Laye (78)

Passé volé, l'envers du décor
Le pillage archéologique sévit dans les pays en guerre mais aussi dans ceux en paix, pour des résultats destructeurs dans les deux cas. C'est l'objet de cette exposition que d'expliquer ce que le pillage fait perdre en matière de valeur patrimoniale et d'importance scientifique.
Musée d'Archéologie nationale, place Charles-de-Gaulle, jusqu'au 29 août. Rens. : 01.39.10.13.00.

Toulouse (31)

Terrain martien : les rovers entrent en scène
Un cratère de 900 m² reproduit le sol martien, ses rochers, sa texture. Guidé par un animateur scientifique, le visiteur y découvre le travail des rovers Perseverance (États-Unis) et Zhurong (Chine), et les observe déambuler à la recherche de traces de vie.
Cité de l'espace, avenue Jean-Gonord. Rens. : 05.67.22.23.24.

Vallon-Pont d'Arc (07)

Animal, de la préhistoire au street art
La salle d'exposition de 500 m² de Chauvet 2 accueille un spectacle immersif à 360°, une fresque animée sur le thème de l'animal. Lumières, projections et musique accompagnent cette installation, peuplant la salle de bisons et de mégacéros, faisant voyager le visiteur de la fin de l'ère glaciaire jusqu'au milieu urbain actuel.
Grotte Chauvet 2, 4941, route de Bourg-Saint-Andréol. Jusqu'au 31 décembre. Rens. : 04.75.94.39.40.

Rochefort (17)

Ancienne école de médecine navale

En février 1722, quatre élèves rentraient dans la toute première école de médecine navale de Rochefort. Ils avaient 14 ans révolus, lisaient et écrivaient, savaient raser et pratiquer la saignée. L'école a formé 6 572 chirurgiens « navigans » jusqu'à sa fermeture en 1964. C'est ce souvenir et cette histoire qu'évoque le nouvel espace d'information du musée qui occupe aujourd'hui les locaux. L'ancienne bibliothèque de l'école présente également des œuvres de la plasticienne Elsa Guillaume, inspirées tant des grandes explorations que de l'art de la dissection. L'artiste propose aussi sa vision des grands fonds marins à la Corderie royale. Plongeuse elle-même, invitée en 2014 dans une expédition de la goélette *Tara*, elle recrée les « fumeurs noirs » (sources hydrothermales) des abysses et revisite l'histoire des bathyscaphes dont *Le Plongeur*, premier sous-marin français mis à l'eau en 1863 à Rochefort. ■
Loïc Chauveau

Créatures marines de l'artiste Elsa Guillaume, à la Corderie royale.
TADZIO

Ancienne école de médecine navale, 25, rue amiral Meyer. Corderie royale, rue Jean-Baptiste-Audebert, jusqu'au 31 décembre. Rens.: 05.46.87.01.90.

LE CIEL DE JUILLET

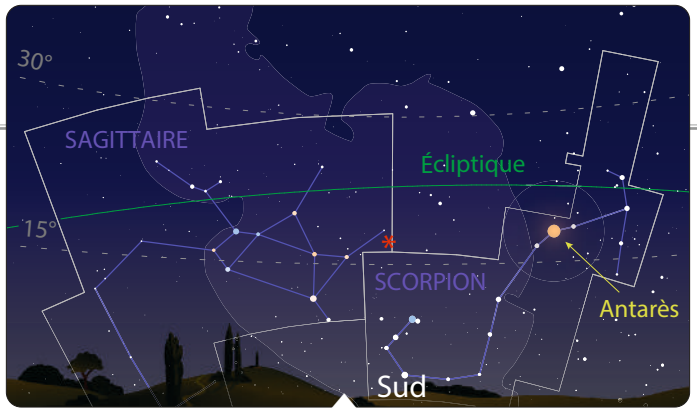
PAR JOHAN KIEKEN

Où sont les planètes ?

MERCURE La petite planète est timidement observable en début de mois vers le levant le matin. Elle disparaît ensuite dans l'éclat de l'astre du jour, passe en conjonction supérieure le 16 et demeure ultérieurement invisible sous nos latitudes.

VÉNUS L'étoile du Berger est visible au petit matin sous la forme d'un point extrêmement brillant au-dessus de l'horizon est-nord-est. Elle se lève tout ce mois environ 2 h avant notre étoile.

MARS La planète Rouge se lève au cœur de la nuit et surmonte l'horizon sud-est d'une trentaine de degrés quand s'annonce l'aube. Sa luminosité, en augmentation, atteint maintenant celle des étoiles de première grandeur. Mars quitte les Poissons pour le Bélier dans la nuit du 8 au 9.

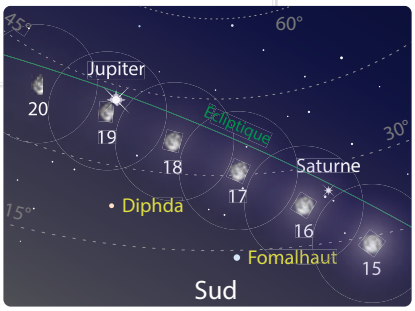


La scène est représentée à la mi-juillet vers minuit, à la latitude de Toulouse. Le Scorpion et le Sagittaire sont visibles dans leur intégralité.

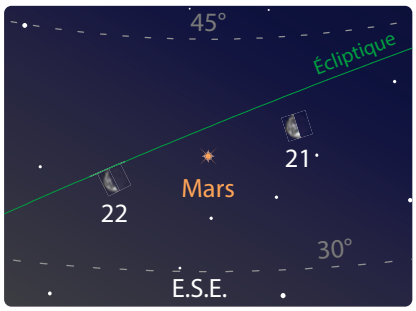
Un ciel d'été en beauté

LE SCORPION ET LE SAGITTAIRE sont deux constellations estivales où pullulent amas d'étoiles et nébuleuses. Le centre de notre galaxie, la Voie lactée, se trouve dans la direction du Sagittaire. Marqué par une étoile rouge sur la carte, il est occupé par un trou noir supermassif dont la première image a été dévoilée en mai *(lire* S. et A. *n° 904)*.

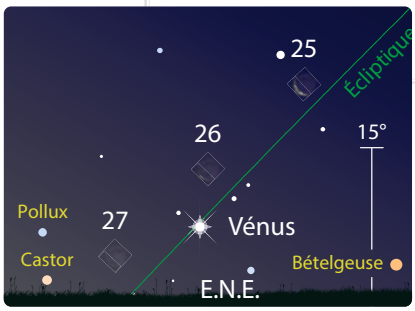
Notre conseil Un horizon sud dégagé est indispensable à l'observation de ces deux constellations. En raison de la rotondité de la Terre, le Scorpion est coupé en deux par l'horizon dans la moitié nord de la France.



EN FIN DE NUIT, DU 15 AU 20, SUIVEZ LA LUNE en phase gibbeuse et observez-la passer à 5° de la planète Saturne le 16 et à moins de 3° de la planète Jupiter le 19.



LES 21 ET 22, 1 H AVANT LE LEVER DU SOLEIL, la Lune proche de son dernier quartier vous permettra de repérer la planète Mars sans ambiguïté, à bonne hauteur dans le ciel.



LE MATIN DU 26, 1 H AVANT LE LEVER DU SOLEIL, un très fin dernier croissant de Lune se situera à 5° 30' au-dessus de la brillante planète Vénus, vers l'est-nord-est.

JUPITER La plus grande des planètes se lève un peu après minuit. Elle passe l'été dans la constellation de la Baleine, dans une région du ciel pauvre en étoiles brillantes où sa luminosité élevée attire l'œil.

SATURNE À un mois de son passage à l'opposition, la planète aux anneaux se trouve déjà dans de très bonnes conditions d'observation, visible une grande partie de la nuit. On la trouve plein sud à une trentaine de degrés de hauteur vers 5 h en début de mois et vers 3 h en fin de mois.

L'appli du mois

LUNASOLCAL est une application en français gratuite sur Google Play et payante (3,99 €) sur App Store. Elle calcule et donne les instants de lever et coucher du Soleil et de la Lune et fournit une représentation graphique des directions de ces levers et couchers sur une carte.

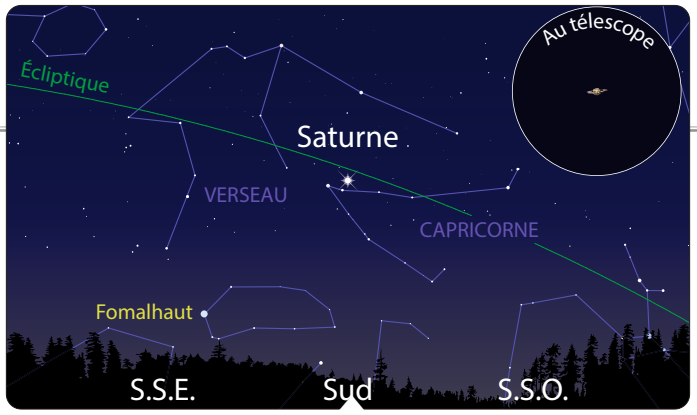
Scannez ce QR code pour découvrir la carte du ciel de juillet

Où sont les planètes ?

MERCURE La plus petite des planètes atteint sa distance angulaire maximale (27°) à l'est du Soleil le 27. Elle se trouve au sud d'un écliptique déjà très peu incliné sur l'horizon le soir dans nos contrées. Mercure, noyée dans les lumières du crépuscule, est inobservable en août.

VÉNUS Ce mois marque la fin d'une bonne période d'observation matinale de l'étoile du Berger. Si elle se lève près de 2 h avant le Soleil le 1er, elle ne le fait plus que 1 h 20 min avant lui trente jours plus tard. Vénus poursuivra son plongeon dans la direction du Soleil jusqu'au 22 octobre.

MARS La planète Rouge se lève vers minuit. Son éclat couleur caramel est désormais aisément détectable. Mars quitte le Bélier pour le Taureau le 9.



Aspect du ciel en milieu de mois, vers 2 h du matin. Saturne est alors proche de sa culmination.

L'opposition de Saturne

LE 14, LA PLANÈTE SATURNE passe à l'opposition dans la constellation du Capricorne. Le Soleil, la Terre et Saturne sont alors alignés, dans cet ordre. Visible toute la nuit, la planète géante se trouve donc dans des conditions d'observation idéales ce mois, au maximum de son éclat pour l'année.

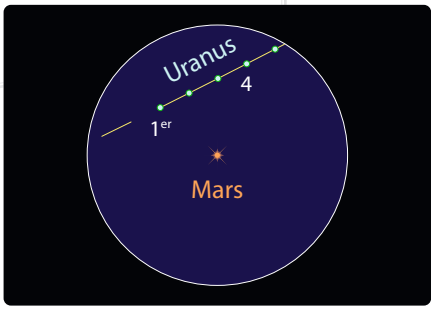
Notre conseil À l'œil nu et aux jumelles, Saturne reste un point. Pour commencer à déceler son disque et son incroyable système d'anneaux, il faut un instrument d'optique — lunette astronomique ou télescope — muni d'un grossissement d'au moins 30 fois.

JUPITER La planète géante se trouve dans de très bonnes conditions d'observation. Elle se lève en soirée et domine, par sa luminosité près de 20 fois supérieure à celle de Saturne, le ciel nocturne. Si, au cœur de la nuit, un point très brillant attire votre attention, il s'agit certainement de Jupiter.

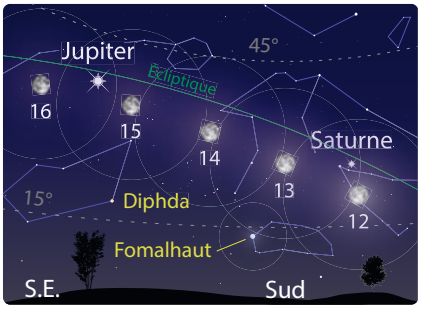
SATURNE Le 14, Saturne est à l'opposition et atteint sa plus petite distance à la Terre pour 2022 *(lire ci-contre)*. Son passage à l'opposition se fera de plus en plus haut dans le ciel durant les dix ans à venir.

L'appli du mois

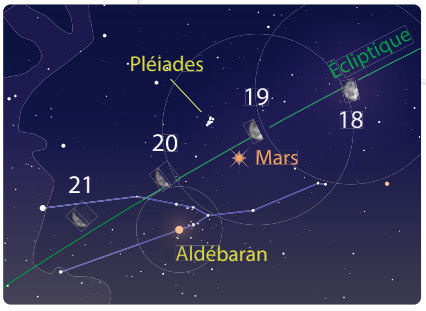
JAMES WEBB TRACKER est une application en anglais gratuite sur Google Play et App Store. Elle vous permet de suivre les différentes étapes de la mission du télescope spatial James-Webb et d'accéder à ses images.



LA LOINTAINE PLANÈTE URANUS EST INOBSERVABLE À L'ŒIL NU... Profitez donc de sa proximité avec Mars en début de mois pour la localiser aux jumelles, en fin de nuit.



DU 12 AU 16, UNE LUNE PROCHE DE SA PLÉNITUDE — et donc particulièrement brillante et gênante — rendra visite aux planètes Saturne et Jupiter. Il est ici 3 h du matin.



LES 19 ET 20, EN FIN DE NUIT ET À MI-HAUTEUR DANS LE CIEL, la Lune sera proche de Mars, de l'étoile orangée Aldébaran et de l'amas d'étoiles des Pléiades, dans le Taureau.

Scannez ce QR code pour découvrir la carte du ciel d'août

Céline Guivarch, directrice de recherche à l'École des ponts, auteure principale du 6e rapport du Giec (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), groupe 3.

Christophe Cassou, directeur de recherche au CNRS, auteur principal du 6e rapport du Giec, groupe 1.

A. BILLET / UNIVERSCIENCE

CLIMAT PAR CÉLINE GUIVARCH ET CHRISTOPHE CASSOU

Les villes sont des points chauds du changement climatique

Les villes forment un véritable microclimat caractérisé par des risques exacerbés. Les extrêmes chauds sont amplifiés par les matériaux qui stockent l'énergie solaire et la restituent la nuit (routes, bâtiments, etc.), et par la production directe de chaleur par les activités dans les villes (chauffage, air conditionné, moteurs thermiques, etc.). Lors de la canicule de 2003, la différence de température de nuit entre Paris intra-muros et sa banlieue a atteint entre 6 et 8 °C. Ces « îlots de chaleur » urbains s'accompagnent souvent de conditions plus sèches et moins ventées, favorisant les pics de pollution. Les villes d'Inde et du Pakistan viennent de vivre des épisodes de chaleur très lourds de conséquences et sans précédent par leur durée. Un avant-goût du climat de demain pour beaucoup de mégalopoles car on s'attend à ce que le développement urbain, combiné à des vagues de chaleur plus fréquentes, aggrave le stress thermique, avec des répercussions graves sur la santé des plus vulnérables, les personnes âgées et les jeunes enfants, ou sur celle des plus exposés, les personnes qui travaillent en extérieur en particulier.
Certaines solutions dites fondées sur la nature, comme la création d'îlots de fraîcheur par des espaces verts publics, sont efficaces pour que nos villes ne deviennent pas des fournaises tout en améliorant le bien-être des habitants.
S'il est urgent d'adapter les villes, il est aussi essentiel de penser les choix d'urbanisation pour limiter les vulnérabilités et réduire les émissions de gaz à effet de serre. ■

Directrice de l'institut Henri-Poincaré, à Paris.

CLAIRE MATHIEU

MATHÉMATIQUES PAR SYLVIE BENZONI

De l'importance des propriétés des modes de scrutin

La saison des élections est passée. C'est le moment ou jamais de réfléchir à la façon dont nous élisons nos représentants. Ici même, au mois d'avril, Claire Mathieu attirait l'attention sur le vote utile aux élections présidentielles, qui relève d'un défaut du scrutin majoritaire à deux tours, et sur l'alternative appelée jugement majoritaire, mise en œuvre à la primaire populaire. L'étude des modes de scrutin fait partie de la « théorie du choix social ». Elle remonte au moins à Condorcet, savant et homme politique français du XVIIIe siècle. Ses développements ultérieurs ont conduit à toute une variété de méthodes possibles, que ce soit pour élire une personne (scrutin uninominal) ou une assemblée (scrutin de liste). Aucune méthode n'est parfaite, mais certaines ont plus de défauts que d'autres. Dans leur récent livre *Comment être élu à tous les coups ?* (EDP Sciences), les mathématiciens Jean-Baptiste Aubin et Antoine Rolland font le tour des propriétés souhaitables d'un mode de scrutin et les examinent sur nombre d'exemples. Il en ressort notamment que plusieurs méthodes sont préférables à notre scrutin majoritaire à deux tours. Bien sûr, il n'y a pas que les considérations logiques qui comptent, dans ce sujet au carrefour des mathématiques, de la sociologie et de la politique. Des études de laboratoire et de terrain sont menées pour évaluer la perception et la réaction des électeurs et électrices. Tout ceci donne du grain à moudre à notre démocratie. ■

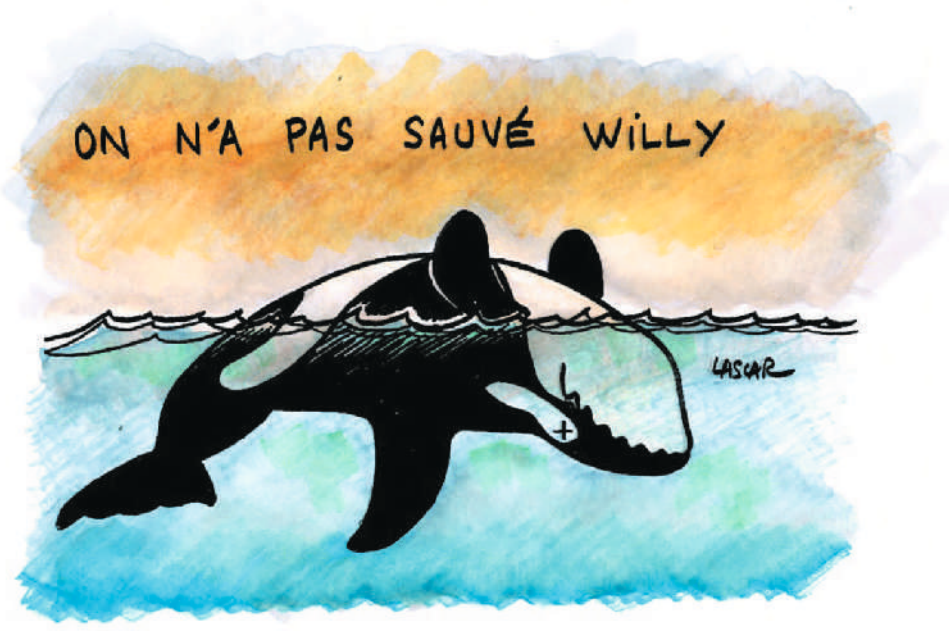
ÉTHIQUE PAR JEAN-GABRIEL GANASCIA

Digital Service Act : modération ou censure sur la toile ?

Professeur à Sorbonne Université, à Paris, chercheur en intelligence artificielle au LIP6 (Sorbonne Université, CNRS), ex-président du comité d'éthique du CNRS. Dernier ouvrage publié : *Servitudes virtuelles*, Seuil, 2022.

BRUNO LÉVY

Le 23 avril, le commissaire européen au Marché intérieur, Thierry Breton, s'est félicité publiquement de l'accord des institutions de l'Union européenne sur le Digital Service Act (DSA). Ce règlement vise à contenir les échanges sur la toile pour lutter contre la désinformation, la diffamation et l'apologie du terrorisme. Il entend faire respecter les lois européennes sur les médias numériques, au risque de restreindre la liberté l'expression. Deux jours plus tôt, Barack Obama insistait, lors d'une conférence prononcée à l'université Stanford (États-Unis), sur la nécessité d'une régulation des réseaux sociaux pour préserver les institutions démocratiques. Toujours au mois d'avril, le milliardaire fantasque Elon Musk justifia lui aussi, au nom de la défense de la démocratie, ses velléités d'achat de Twitter et sa volonté d'y instituer une modération transparente. L'absence totale de contrôle sur la toile conduit à un déchaînement de violence symbolique dont l'assassinat de Samuel Paty en 2020 illustre les effets dévastateurs. La diffusion massive d'infox qui en résulte a également des conséquences délétères. L'espace d'échange et de discussion sur lequel se fonde la démocratie s'en trouve encombré, au point qu'il se fragmente et que les débats en deviennent inaudibles. La modération se révèle donc nécessaire. En même temps, la restriction des libertés qui en découle nous apparaît insupportable. Le sort réservé à la proposition de loi contre la haine sur Internet, portée en 2019 par la députée LREM Laetitia Avia, en atteste : le Conseil constitutionnel en a censuré les principales dispositions jugées liberticides. Le DSA surmonte les difficultés en invoquant la loi commune : ce qui est condamnable dans l'espace public, par exemple les incitations à la haine ou à la discrimination raciale, doit le rester dans l'espace numérique. Mais, comment faire en pratique ? Rien que sur Twitter, il faudrait des armées de censeurs pour filtrer les 500 millions de messages quotidiens, à moins qu'on ne recoure à des algorithmes, ce qui risque d'être pire ! ■



L'ŒIL DE LASCAR

L'orque qui s'était égarée dans la Seine y a été retrouvée morte le 30 mai. Aurait-elle pu être sauvée ? L'ONG Sea Shepherd assure qu'une *« opération de guidage »* de l'animal vers la mer *« aurait dû être lancée dans les heures qui ont suivi les premiers signalements »* afin de la sortir de *« l'eau douce, bruyante et polluée »* du fleuve français. L'association France Nature Environnement accuse aussi les autorités d'une mauvaise prise en charge du cétacé, ce que réfute le préfet de la Seine-Maritime. **O. L.**

Sur notre site **sciencesetavenir.fr,** la rédaction répond à des questions scientifiques posées par nos lecteurs sur notre page **Facebook.** En voici une sélection.

MÉTÉOROLOGIE

Pourquoi les orages sont-ils plus fréquents en été ?

Julie M.

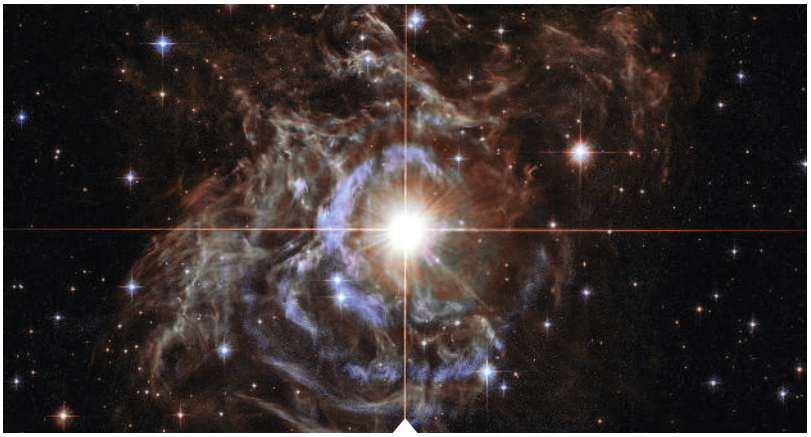
L'explication se trouve dans la différence de température entre l'air chaud au niveau du sol et les couches nuageuses froides d'altitude élevée, qui facilite la formation de nuages d'orages. C'est pourquoi les zones à la fois chaudes et montagneuses sont généralement les plus à risques. Pourtant, c'est sur le lac Maracaibo (Venezuela), situé au niveau de la mer, que la foudre tombe le plus souvent (233 nuits par an). En effet, ce lac est soumis à des températures élevées toute l'année et se situe entre deux crêtes des Andes. ■ **Lise Loumé** @Lise_Loume

ZOOLOGIE

Pour quelle raison le coq chante-t-il le matin ?

Pauline B.

« *Pour le coq, chanter permet d'affirmer son territoire auprès des autres mâles des alentours et d'attirer les femelles* », explique Jean-François Magne, responsable de la délégation Île-de-France de la Ligue de protection des oiseaux. Pour imposer sa suprématie, le coq a besoin que son chant porte le plus loin possible et couvre celui des mâles concurrents qui répondent à tue-tête. « *Or c'est à l'aube, et par temps calme, que le son se propage le mieux. Quand il pleut ou que le vent souffle, le coq chante moins ou plus tard dans la matinée* », ajoute le spécialiste. De plus, les poules sont plus réceptives au chant du coq le matin, car davantage fertiles. ■ **L. L.**



NASA, ESA, HUBBLE HERITAGE

La variation de la luminosité des céphéides (ici RS Puppis) permet de calculer leur distance et d'en déduire celle des étoiles à leur proximité.

ASTRONOMIE

Comment mesure-t-on la distance qui nous sépare des astres dans le ciel ?

Jean-Louis V.

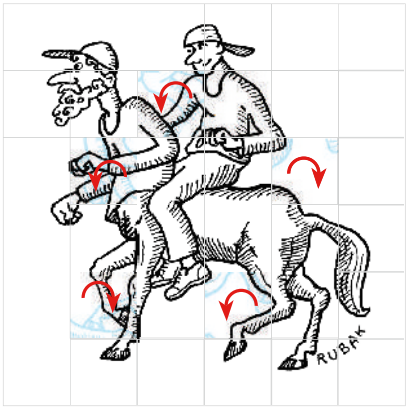
Tout dépend de la proximité présumée des astres dont on veut calculer l'éloignement. Pour ceux qui se trouvent à une distance inférieure à une centaine d'années-lumière de la Terre, les astronomes utilisent la méthode de la parallaxe annuelle. Elle consiste à mesurer deux fois, à six mois d'intervalle, la trajectoire apparente de l'étoile, par exemple, par rapport au fond d'étoiles lointaines. Ce déplacement, lié en réalité au mouvement de notre planète sur son orbite, décrit une ellipse dont la taille dépend de la distance de l'étoile. Grâce à la mesure du déplacement angulaire, on peut géométriquement calculer la distance.

Pour des astres plus lointains, il faut recourir à des « chandelles standard », des sortes de phares parsemés dans l'Univers. Les premières, utilisées dès le début du XX^e siècle, sont les céphéides, de grosses étoiles âgées de moins de 200 millions d'années, très brillantes et dont la luminosité varie de façon régulière, entre 1 et 135 jours. Plus une céphéide est brillante, plus sa période de variation d'éclat est longue. Dès lors, il suffit de connaître celle-ci pour déterminer sa luminosité absolue, puis d'observer sa luminosité apparente pour calculer sa distance et en déduire avec une bonne approximation celle des étoiles situées dans la même galaxie que cet astre. Pour mesurer la distance des galaxies plus lointaines encore, les astronomes recourent à d'autres chandelles comme les supernovæ de type Ia, qui explosent toujours selon le même schéma. ■ **Joël Ignasse** @IgnasseJ

Solutions des jeux parus dans « Sciences et Avenir-La Recherche » n° 904, juin 2022

Perturbations logiques

Deux éléments sont tournés dans le sens des montres, trois en sens inverse.
Le nombre premier est 23.



Éléments de calcul

0 / 57 + (4 - 2) x 93 = 186

et

950 / (6 + 4) x 2 - 3 = 187

(parmi quelques autres).

L'équilibre du bœuf

Quand deux figures sont semblables, les aires sont proportionnelles aux carrés des dimensions linéaires et les volumes, comme les poids, sont proportionnels aux cubes de ces dimensions.
Les aires suivent les carrés des racines cubiques des poids et les calories font de même.
Le résultat est 13 500 multiplié par le carré de la racine cubique de 420 / 630, soit environ 10 300 calories.

La loi des volants

Le propriétaire de la Fiat n'est pas Dominique (1), ni Alphonse (2), ni Christophe (3) qui ne roulent pas à ce moment-là.
C'est donc Benoît.
La voiture de Dominique n'est pas la Fiat.
Ce n'est ni la Rover (4), ni la Pontiac (5).
C'est donc la Cadillac.
Alphonse, qui est au téléphone (2), n'est pas au volant de la Pontiac qui roule (5). C'est donc Christophe qui y est et, par définition, ce n'est pas sa voiture.
Donc la Pontiac appartient à Alphonse et c'est Christophe qui a la Rover.

Machines et connaissances

Il nous est plus facile de nous teindre d'une infinité de connaissances que d'en bien posséder un petit nombre.

Une formidable diversité

11 fois par an, l'actualité des savoirs pour tous

N° 897
Tempêtes, chaleur extrême, inondations

N° 898
Découverte d'un continent englouti

N° 899
Les 10 découvertes de l'année 2021

N° 900
Gravitation : la théorie qui dépasse Einstein

N° 901
Le nucléaire peut-il être propre ?

N° 902 Quantique, la révolution du XXIe siècle

N° 903
Les arbres, gardiens de la Terre

N° 904 Les aliments qui augmentent l'espérance de vie

Bon de commande

Je commande les numéros ci-après au prix de : 7 € par numéro payable par chèque à l'ordre de *Sciences et Avenir* (port compris pour la France). Bon de commande à retourner à :

Sciences et Avenir
service des abonnements
45 av. du Général-Leclerc 60643 Chantilly Cedex

❑ N° 897 ❑ N° 898 ❑ N° 899 ❑ N° 900
❑ N° 901 ❑ N° 902 ❑ N° 903 ❑ N° 904

Nom : .....
Adresse : .....
..... Ville : .....
Code postal : .....

PAR PIERRE BERLOQUIN

Énigmes, logique et mathématiques

Retrouvez chaque mois des problèmes ludiques pour solliciter votre curiosité. Solutions dans le prochain numéro.

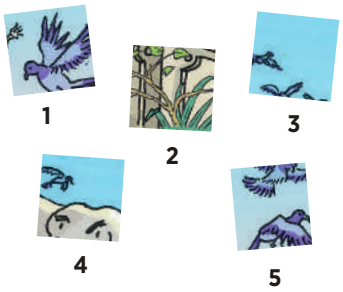
Anagramme

Quel dicton, issu de nos ancêtres, se cache derrière cette phrase ?

Arthur, ce radin, vendit l'équipe de l'émir.

Bris de porcelaine

Parmi les morceaux ci-dessous, extraits du « Monument à l'éléphant dans un magasin de porcelaine », lequel n'est pas en accord avec le reste ?



Impertinuances

Quelle est la couleur la plus pertinente dans ce carré ?

V	E	A	G	U	T	B	I
L	E	C	O	U	A	G	E
O	S	E	O	J	I	G	L
T	S	I	O	R	B	L	V
E	L	L	A	R	O	O	E
E	E	N	U	R	C	C	B
E	R	A	R	N	H	T	T
A	A	E	C	E	R	G	N

Doubles inconnues dans l'égalité

Un certain type d'égalité numérique utilise :

- **à gauche, un chiffre deux fois et un autre chiffre deux fois**
- **à droite, un troisième chiffre deux fois et un quatrième chiffre deux fois également.**

Les signes ne sont pas précisés.

Saurez-vous écrire au moins un exemple de cette égalité ?

Science cachée

Quelle science se cache dans ces mots ?

RASCASSE
MATURITÉ
CORRIDOR
CLOPORTE
AMBITION
ABSCONSE
ENCOURIR
ENNEIGÉE
COMPRIMÉ
EMBAUCHE

Une suite naturelle

Quel chiffre termine naturellement cette suite ?

5 8 4 7 3 1 ...

Énigmes Créalude, Pierre Berloquin, Jean-Thierry Garrigues

A vos côtés, pour votre santé !

Depuis 1992, nous vous offrons le meilleur des plantes, vitamines et minéraux, pour une santé chaque jour renforcée !

OFFRE DÉCOUVERTE dès **5€**

LABORATOIRES ILAPHARM

www.ilapharm.com

**Offre valable 1 mois, 1 seule fois, réservée aux nouveaux clients. Non cumulable avec d'autres offres promotionnelles en cours.*

Jambes légères
VIGNE ROUGE BIO

Active votre circulation sanguine pour des **jambes légères et confortables**.

5€ 45 gélules ~~11,20€~~

Mobilité articulaire
HARPAGOPHYTUM BIO

Conservez des **articulations souples, mobiles** et en bonne santé. *(3)*

5€ 45 gélules ~~11,40€~~

Brûle-graisse
GUARANA BIO

Boostez **l'élimination des graisses et la perte de poids**. *(1), (2), (5).*

6€ 45 gélules ~~12,10€~~

Libido
MACA BIO

Source d'énergie et aphrodisiaque, elle **stimule le désir sexuel**.

6€ 45 comprimés ~~13,10€~~

Os et articulations
SILICIUM ORGANIQUE et Vitamine C

Vitamine C (formation du collagène) et **Silicium** (constituant naturel) pour vos os et cartilages.

7€ 45 gélules ~~15,50€~~

Sommeil
PASSIFLORE BIO

Calmante et apaisante, elle procure **un sommeil de qualité**. Ni accoutumance, ni somnolence.

6€ 45 gélules ~~11,80€~~

Prostate
HUILE DE COURGE BIO

Aide au bon fonctionnement de la **prostate** et de la **vessie**. Pour un **bon confort urinaire**.

5€ 45 capsules ~~11,50€~~

Fatigue nerveuse
MAGNÉSIUM MARIN et B6

Il contribue au bon fonctionnement de votre **système nerveux**. *(6), (8).*
*Allergène : **poisson**.*

6€ 45 gélules ~~11,40€~~

Cholestérol
AIL NOIR BIO

Il aide au maintien d'un **taux normal de cholestérol** et possède un **effet cardioprotecteur**. *(10).*

6€ 30 gélules ~~11,50€~~

Vigueur sexuelle
SAFRAN BIO

Le Safran Bio aide à **améliorer l'érection** et **stimule le désir sexuel**. *(2), (4).*

7€ 30 gélules ~~16,50€~~

Vitalité - Immunité
GINSENG SIBÉRIEN BIO

Stimulant et **énergisant**, il aide au bon fonctionnement du **système immunitaire**.

6€ 45 gélules ~~12,40€~~

Foie - Draineur
ARTICHAUT - RADIS NOIR BIO

L'artichaut favorise le **fonctionnement du foie et détoxifie**.

6€ 10 ampoules ~~14,30€~~ *(2), (9).*

Capacité sexuelle
TRIBULUS

Elle favorise le **désir**, la **capacité** et les **performances sexuelles** et participe à la bonne santé des organes reproducteurs.

7€ 60 gélules ~~16,50€~~

Un esprit vif
GINKGO BILOBA BIO

Arbre de jouvence, il favorise votre circulation cérébrale pour **un esprit vif et alerte**. *(2), (4), (7).*

6€ 45 gélules ~~11,70€~~

Articulations
FRÊNE BIO

Pour le bon fonctionnement des articulations. **Gardez le plaisir de bouger !**

5€ 45 gélules ~~11,30€~~

Défenses naturelles
ÉCHINACÉA BIO

Aide au bon fonctionnement du système de **défenses naturelles et respiratoire** (bouche et gorge).

6€ 45 gélules ~~11,70€~~

Vos 3 Cadeaux

LE VENTILATEUR Portatif Fresh+

OFFERT

- ☑ *3 vitesses*
- ☑ *cable à port USB fourni pour le recharger*

Ventilateur sans pale
Dim. : 212x68x46 mm
Puissance : 4W

Les Frais de Port
Dès 15€ d'achat
OFFERTS **0€**

dès 5€ Tous vos produits
ÉCONOMISEZ PLUS DE 50%

Harpagophytum BIO	~~11,40~~	5,00€
Artichaut - Radis Noir BIO	~~14,30~~	6,00€
Vigne Rouge BIO	~~11,20~~	5,00€
Safran BIO	~~16,50~~	7,00€
Tribulus	~~16,50~~	7,00€
Le Ventilateur Portatif		OFFERT
Frais de port	~~5,80~~	OFFERTS
TOTAL	~~75,70~~	30,00€

(1) Déconseillé aux enfants de moins de 12 ans. (2) Déconseillé aux femmes enceintes ou allaitantes. (3) Déconseillé en cas d'ulcère gastrique ou duodénal et de calculs biliaires. (4) Ne pas associer avec des antidépresseurs. (5) Contient de la caféine (50 mg par jour). (6) Déconseillé aux insuffisants rénaux. (7) Ne pas associer avec des anticoagulants. (8) Possible effet laxatif. (9) Déconseillé en cas de troubles de la thyroïde. (10) Consultez votre médecin ou pharmacien en cas de prise simultanée d'anticoagulants. Les éventuelles traces d'allergènes sont indiquées sur l'étiquetage des produits.

OFFRE DÉCOUVERTE SANS ENGAGEMENT - BON DE COMMANDE

Vos coordonnées ☐ Mme ☐ Mr

Nom, Prénom : .....

Adresse : .....

.....

Code Postal : |_|_|_|_|_| Ville : .....

Votre date d'anniversaire : |_|_| |_|_| 19|_|_|

E-mail* : .....

pour recevoir les **Newsletter ILAPHARM** ☐ **OUI** ou ☐ **NON**

et des **partenaires d'ILAPHARM** ☐ **OUI** ou ☐ **NON** **Recommandé pour la livraison.*

Choisissez votre mode de paiement

☐ **Par carte bancaire (débit immédiat uniquement) :**

N° |_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

Date d'expiration : |_|_| |_|_|

Chiffres inscrits au dos de ma carte : |_|_|_|

Signature :

☐ **Par chèque, je choisis :** ○ débit immédiat ○ débit dans 1 mois à l'ordre des Laboratoires ILAPHARM

NOM DU PRODUIT	RÉF.	QTÉ	PRIX RÉDUIT	TOTAL
Vigne Rouge BIO	PVRB45		5€	
Harpagophytum BIO	PHAB45		5€	
Guarana BIO	PGUB45		6€	
Maca BIO	PMAB45		6€	
Silicium Organique et Vitamine C	PSV45		7€	
Passiflore BIO	PPAB45		6€	
Huile de Courge BIO	PPCB45		5€	
Magnésium Marin et B6	PMM45		6€	
Ail Noir BIO	PANB30		6€	
Safran BIO	PSFB		7€	
Ginseng Sibérien BIO	PGSB45		6€	
Artichaut - Radis Noir BIO	PXRAB		6€	
Tribulus	PTR		7€	
Ginkgo Biloba BIO	PGBB45		6€	
Frêne BIO	PFNB45		5€	
Echinacéa BIO	PECB45		6€	
☐ Je reçois GRATUITEMENT mon VENTILATEUR et mon CATALOGUE				OFFERTS
☐ Ma commande atteint 15€, j'économise 5,80€ sur les frais de port				OFFERTS
☐ Ma commande est inférieure à 15€, je rajoute 5,80€				
CODE PRIVILÈGE : CS433			TOTAL À RÉGLER	..... €

Laboratoires ILAPHARM SAS au capital de 38 112€, RCS Nanterre B 384 620 878 - 27 rue de Solférino - 92100 Boulogne. Tél Sce client 01.49.09.11.11. Offre et frais de livraison valables en France Métropolitaine. En cas d'indisponibilité de votre cadeau, nous pourrons le remplacer par un autre d'une valeur similaire. Pour recevoir votre cadeau sans commander, joignez un chèque de 5,80€ de frais, envoi sous 90 jours. Photos non contractuelles. Pour exercer les droits que vous confère le Règlement européen sur la protection des données, veuillez nous écrire, téléphoner au 01.49.09.11.11 ou consulter nos conditions générales de vente sur notre site internet. Vous bénéficiez des dispositions de la garantie légale de non-conformité et des vices cachés dont la mise en œuvre et le contenu sont prévus aux articles L. 217-4 et suivants du Code de la consommation. Vous disposez d'un délai de rétractation de 30 jours après livraison de votre commande pour retourner les produits pour remboursement ou échange sans pénalités, sauf frais de retour. Traitée dans les 24h suivant sa réception, vous recevez votre commande après 72h d'acheminement environ. Les Laboratoires ILAPHARM adhèrent à la fédération du e-commerce et de la vente à distance (FEVAD) et au service de médiation du e-commerce (60 rue de la Boétie - 75008 Paris-relationconso@fevad.com). ADEME : FR202486_01JWKA Pour votre santé, mangez au moins 5 fruits et légumes par jour, consultez www.mangerbouger.fr. Conditions générales de vente : www.ilapharm.com/conditions-generales-de-vente.html Si vous ne souhaitez pas recevoir les offres des Laboratoires Ilapharm, cochez cette case ☐ ou écrivez-nous. Si vous ne souhaitez pas recevoir les offres de nos partenaires (commerciaux ou organismes) : cochez cette case ☐ ou écrivez-nous.

NOS GARANTIES :

PAYEZ DANS 1 MOIS

*Envoyez votre **règlement par chèque**, **avec votre bon de commande**, il ne sera encaissé que dans 1 mois.*

Charte Qualité fevad · synadiet · Traitement Rapide 24h COLIEGO

POUR COMMANDER :

Par internet :
www.ilapharm.com

Par téléphone :
01 49 09 11 11
Du lundi au vendredi : 9h -13h et 14h -18h

Par courrier :
Laboratoires ILAPHARM
C/O BSL, BP 60475, 35171 BRUZ CEDEX

Les contenants en plastique (PE, PP, PEHD), verre, papier, carton, les couvercles des flacons plastiques ainsi que tous les documents papiers sont recyclables.

BETC ORANGINA SCHWEPPES FRANCE SAS – RCS NANTERRE B 404 907 941 – CAPITAL SOCIAL 446 636 924 €

POUR VOTRE SANTÉ, MANGEZ AU MOINS CINQ FRUITS ET LÉGUMES PAR JOUR – WWW.MANGERBOUGER.FR